ENDEAVOUR

Revue trimestrielle publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

---

VOLUME XIX Octobre 1960 NUMÉRO 76

SOMMAIRE

58.006(421):070.432
Article de Tête: Le Jardin de plantes médicinales de Chelsea 179

582.281.22:595.7:591.557.8
Endoparasites fongiques des insectes — M. F. MADELIN, B.Sc., A.R.C.S., Ph.D., D.I.C. 181

66.049:669.054.2:541.123
Purification par le procédé de la zone fondue — E. F. G. HERINGTON, Ph.D., D.Sc., A.R.C.S., D.I.C. 191

551.513:621.039.85
Indicateurs radio-actifs dans l'atmosphère — N. G. STEWART, M.A. 197

598.817:591.521
Les oiseaux à berceau — A. J. MARSHALL, D.Phil., D.Sc. 202

591.4(091):93
Les débuts de l'anatomie comparée — W. E. SWINTON, Ph.D., F.R.S.E. 209

539.17.013
Quelques conséquences de la résonance neutronique — J. E. LYNN, B.Sc. 215

581.522.62:551.590.7
L'aérobiologie extérieure — P. H. GREGORY, Ph.D., D.Sc. 223

049.3
Revue des livres 228

Brèves notices bibliographiques 235

Notes biographiques sur les collaborateurs 236

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Le Jardin de plantes médicinales de Chelsea

Le rôle que joue ce jardin est peut-être unique parmi les nombreux établissements britanniques consacrés à l'étude scientifique des plantes. Comme le savent les botanistes, il a été fondé cinquante ans environ après le jardin botanique d'Oxford et près de cent ans avant celui de Kew, sur un terrain offert par Sir Hans Sloane, Président de la *Royal Society* de 1727 à 1741. En cette année 1960 qui marque le tricentenaire de la naissance de Sloane, ainsi que celui de la fondation de la *Royal Society*, le Jardin, vieux de près de trois siècles, est aussi florissant que jamais.

En 1673 la Société des Apothicaires loua à bail un emplacement qui se trouvait au bord de la Tamise, juste en dehors de ce qui était alors le village de Chelsea, et facilement accessible par la rivière depuis la Maison des Apothicaires, à Blackfriars. La gare aux péniches, aujourd'hui à sec, fait partie du Jardin, qui est séparé de la Tamise par le quai de Chelsea. Le Jardin, comme les autres anciens jardins botaniques, était destiné à culture, dans un but exclusivement instructif, de plantes utilisées dans les pharmacopées de l'époque. Contre toute attente, il existe encore, avec cette même fonction, dans un milieu qui, perdant graduellement son caractère rural, s'est urbanisé complètement.

La Société entoura le terrain d'un mur un an après l'avoir loué. En 1722, Sir Hans Sloane qui dix ans auparavant avait acheté le domaine de Chelsea dont le Jardin faisait partie, fit don de celui-ci à la Société, afin que son caractère médicinal soit conservé et afin que les apprentis apothicaires, notamment, puissent apprendre à distinguer les plantes bienfaisantes de celles qui en ont l'apparence tout en étant nuisibles. Il était stipulé dans l'acte de cession que les Apothicaires fourniraient chaque année à la *Royal Society* cinquante spécimens desséchés de plantes différentes qui auraient été cultivées dans le Jardin au cours de l'année. Sir Hans, lorsqu'il était Président de la *Royal Society*, offrait à ses collègues un banquet le jour où les représentants de la Société des Apothicaires venaient apporter ce tribut annuel. Les assistants formulaient alors, après examen, leurs commentaires sur les spécimens.

Pour commémorer la générosité de Sloane, sa statue en marbre, due au ciseau de Michael Rysbrach, fut érigée dans le Jardin en 1737. Elle s'y trouve encore, assez bien conservée malgré les conditions atmosphériques londoniennes. On lui a fait une toilette spéciale en honneur du tricentenaire de la naissance de Sloane et sa blancheur éclate sur le fond vert tendre et gris du Jardin et des murs.

Nombreux ont été les Conservateurs qui se sont succédé à la tête de l'établissement et certains furent des horticulteurs réputés. Phillip Miller, «le plus fameux jardinier de son époque», nommé en 1722, occupa le poste pendant quarante-huit ans et, en 1768, son *Gardener's Dictionary* avait atteint sa huitième édition. Un des objectifs de Linné lors de son voyage en Angleterre en 1736, fut une visite à Chelsea et il note que Miller lui permit de faire une ample collection des plantes du Jardin. James Forsyth succède à Miller et se distingue par ses méthodes de taille et de disposition en espaliers des arbres fruitiers et forestiers. C'est de lui que l'arbuste *Forsythia*, ornement indispensable des jardinets anglais de banlieue, tire son nom. En 1846, Robert Fortune, le célèbre collectionneur, accède au poste; mais il est bientôt mis en disponibilité à la requête de l'*East India Company* qui lui confie la mission d'importer le thé dans l'Inde. Il donna son nom au genre *Fortunella* (les koum-quats).

Pendant plus d'un siècle à partir de 1724 il y eut aussi un Directeur du Jardin et «Démonstrateur de Plantes». L'un d'eux, William Curtis, [ENDEAVOUR, Vol. v, 13, 1946] auteur de la *Flora Londinensis*, réputée le plus exact des travaux sur les plantes britanniques, fonda en 1787 le *Botanical Magazine* qui rappelle aujourd'hui encore le nom de son fondateur. John Lindley en fut un autre: nommé en 1835, il réorganisa le Jardin sur une base naturelle avec la collaboration de Fortune durant la brève période où celui-ci occupa le poste de Conservateur; puis, avec l'aide du successeur de Fortune, Thomas Moore, il rédigea le célèbre *Treasury of Botany* longtemps considéré comme une autorité sur les plantes utiles peu connues.

Il n'est donc pas surprenant qu'à cette époque de son histoire le Jardin ait pris l'initiative de nombreuses innovations; la plus étrange et sans doute la première du genre fut son jardin de rocaille. A cette fin, Stanesby Alchorne, un Directeur remarquable à aucun autre titre, acheta quarante tonnes de vieilles pierres provenant de la

Tour de Londres, auxquelles il mêla des silex, des calcaires et une forte quantité de lave basaltique importée d'Islande par Sir Joseph Banks. On peut voir encore l'assemblage blanc et noir qui en résulta et sur lequel croissent bon nombre de plantes alpestres.

Il faut signaler la visite que fit en 1682 le Professeur Hermann, du Jardin Botanique de Leyde et qui eut pour résultat un échange régulier de semences et de plantes entre les deux jardins. Ceci fut sans doute le point de départ des échanges qui sont de règle actuellement entre jardins botaniques du monde entier. La liste d'échanges du Jardin de Chelsea comprend environ 250 stations dont, notamment, trente en Russie et cinq en Chine.

Au cours de la deuxième moitié du XIXe siècle, le Jardin connut des temps difficiles. Son utilité diminua aux yeux de la Société des Apothicaires. La raison en était peut-être qu'avec les progrès de la chimie organique de synthèse, la production des médicaments ne dépendait plus exclusivement des végétaux. L'entretien du Jardin était coûteux et, de l'avis de la Société, il ne convenait plus au rôle de jardin botanique à cause des effets délétères de la pollution sans cesse croissante de l'atmosphère de Londres et de l'appauvrissement de son sol sablonneux. La Société demanda l'annulation de son mandat, mais une commission du Trésor refusa d'admettre que le Jardin avait perdu son utilité et arriva au contraire à la conclusion — que l'avenir s'est chargé de ratifier — qu'il possédait toutes les qualités qu'il fallait au point de vue botanique et offrait en outre des avantages appelés à être hautement appréciés des étudiants du *Royal College of Science* (rattaché aujourd'hui à l'*Imperial College* de Londres) et des collèges techniques de Londres.

En 1899 l'Assistance Publique confia la charge du Jardin à l'Assistance Paroissiale de Londres qui en délégua l'administration à un comité comprenant, entre autres, des représentants de divers organismes scientifiques. La Fondation Paroissiale d'Assistance de la Cité et d'autres organismes intéressés fournirent les fonds nécessaires. Il fut stipulé que le bien serait administré exclusivement en vue de l'encouragement de l'étude de la botanique et l'enseignement de la pharmacologie technique basée sur les plantes médicinales. La nouvelle administration fit construire un amphithéâtre, un laboratoire et une résidence pour le Conservateur, ainsi que des serres et des fosses à engrais. On aménagea en plein air des plates-bandes de plantes médicinales encore en grande demande pour l'enseignement de la pharmacologie.

Actuellement le Jardin sert à tous ceux qui, jeunes et vieux, étudient la botanique. Le *Junior Naturalists Club* se compose d'écoliers londoniens âgés de huit à seize ans, qui travaillent sous surveillance dans le Jardin les samedis et les jours fériés. La nécessité d'éveiller l'intérêt des jeunes est actuellement reconnue et il faut signaler, à ce propos, que quatre nouveaux membres du *Club* sont des étudiants universitaires de botanique.

Les cours publics organisés par les universités et les cours de perfectionnement pour professeurs se déroulent constamment dans l'amphithéâtre et le Jardin lui-même. Ce sont d'ailleurs les étudiants des universités et des collèges techniques qui en sont les principaux usagers: quatre mille s'y rendirent l'an dernier et beaucoup utilisèrent dans leurs collèges des matériaux qui, souvent à leur insu, provenaient du Jardin. L'année dernière celui-ci fournit 30 000 spécimens pour les examens seulement; le total de ses envois annuels atteint souvent 80 000. Comme l'avait prévu le Comité du Trésor en 1899 c'est la section de botanique de l'*Imperial College* qui est le meilleur «client» du Jardin; chaque trimestre elle en reçoit presque journellement des matériaux et donne ses cours de botanique systématique dans le Jardin et ses locaux, utilisant en hiver des fleurs congelées.

Toutefois les rapports les plus anciens entre le Jardin et l'*Imperial College* ont trait à la recherche. C'est dans le Jardin et ses laboratoires que fut effectuée l'étude de la croissance des végétaux, notamment de la mesure où elle dépend de la longueur du jour et de la température, étude à laquelle se rattache les noms de F. G. Gregory et O. N. Purvis. Des recherches sont en cours sur la circulation des substances nutritives, le métabolisme de l'azote, les glandes bactériennes et les maladies appelées mosaïques. Il convient d'ajouter que l'enthousiasme et la compétence de son Directeur actuel aident considérablement aux activités du Jardin.

Deux détails frappent particulièrement le botaniste qui visite le Jardin. D'abord, il lui semble qu'il a passé sans transition dans une autre atmosphère et un autre siècle: la patine des murs le ramène au XVIIIe siècle, mais s'harmonise avec les laboratoires élevés au cours du nôtre. Peu d'autres endroits donnent ainsi l'impression de la continuité de l'histoire botanique. Le visiteur remarque en outre qu'une fois qu'il a justifié sa présence dans le Jardin, il peut y poursuivre à son aise ses études taxonomiques, sans être gêné par le va-et-vient du public comme dans certains autres jardins botaniques.

Endoparasites fongiques des insectes

par M. F. MADELIN

Les champignons vivant aux dépens des insectes ont été étudiés depuis longtemps; cependant on a beaucoup négligé les caractères physiologiques spéciaux liés à leur habitat. Cet article montre que de telles études sont loin d'être académiques. Une plus grande connaissance du comportement et de la physiologie des champignons parasites des insectes est essentielle pour le contrôle biologique des pullulations d'insectes par les champignons et permettrait des progrès dans l'introduction artificielle d'une telle méthode de lutte.

LE PARASITISME

La plupart des champignons qui croissent sur les insectes et les tuent sont des parasites facultatifs, c'est-à-dire que leur croissance ne se limite pas strictement à des substrats vivants. Néanmoins beaucoup ont des difficultés à pousser en culture artificielle, et d'autres n'ont pas encore été cultivés en dehors de leur hôte vivant normal. Cependant, comme ils sont très voisins d'espèces pouvant pousser sur un milieu de culture artificiel, il est probable qu'eux aussi pourront le faire un jour. Le fait même qu'ils tuent leurs hôtes suggère, par analogie avec les champignons pathogènes des végétaux, que leur parasitisme n'est pas obligatoire. Parmi ces champignons, il existe une grande variété dans le degré d'adaptation au parasitisme et dans l'importance de la phase parasite dans le cycle de vie du champignon. D'un côté, on trouve la plupart des Entomophthorées et certains petits champignons comme *Myiophagus* et *Coelomomyces* qui dans la nature ne poussent que sur des insectes et, à l'opposé, des espèces comme *Aspergillus flavus* et *Mucor hiemalis* pour qui le parasitisme sur des insectes est probablement tout à fait accidentel dans leur cycle de vie normal. Des champignons comme ceux-ci, qui vivent normalement en saprophytes sur la matière organique en décomposition, infectent occasionnellement des insectes vivants pour des raisons que nous ne comprenons actuellement qu'imparfaitement. Leur accès au parasitisme peut sans doute être attribué à l'acquisition d'un arsenal complet de caractères pathogènes comprenant la possibilité d'entrer en contact avec l'insecte, d'y pénétrer, de le coloniser et de le tuer. Parfois le changement de mode de vie peut résulter simplement d'une rencontre fortuite du champignon et de l'insecte, mais il est probable qu'il est souvent dû à l'acquisition d'un caractère physiologique approprié, grâce à une modification génétique du champignon.

INFECTION DE L'INSECTE HÔTE

Les champignons infectent les insectes, soit à travers le tégument externe, soit à travers les parois du tube digestif. Le tégument, formé d'une couche continue de cellules épidermiques surmontées d'une cuticule, a une structure complexe. La couche la plus externe de la cuticule est l'épicuticule qui peut se décomposer elle-même en plusieurs couches, dont l'une est formée habituellement de cires. Sous l'épicuticule, on trouve la procuticule, couche solide formée de protéines et de chitine pouvant être chimiquement liées. La chitine est un polymère à poids moléculaire élevé de N-acétylglucosamine, assuré par des liaisons β-glucosidiques; structurellement elle ressemble étroitement à la cellulose. La continuité du tégument externe de l'insecte est interrompue par les stigmates qui sont les ouvertures extérieures des trachées par lesquelles s'effectue la respiration; mais ces trachées sont aussi garnies d'une cuticule chitineuse. Le tube digestif est composé de trois parties principales dont deux, les intestins antérieur et postérieur sont aussi garnis d'une cuticule chitineuse; cette substance manque dans l'intestin moyen. Des filaments de germination de champignons, capables de pénétrer le tégument extérieur de l'insecte hôte ont été signalés, par exemple pour *A. flavus* [1, 2], *A. fumigatus* [2] et *Beauveria bassiana* [3]. On croit généralement que les Entomophthorées infectent les insectes à travers le tégument et G. Schweizer [4] a figuré des filaments de germination d'*Empusa muscae* pénétrant dans une mouche par cette voie.

La couche de cire de l'épicuticule empêche sans doute beaucoup de champignons de pénétrer. A. S. Sussman [5] a trouvé qu'en enlevant la cire de chrysalides de *Platysamia cecropia* avec de l'éther, on supprimait la résistance à l'infection par *A. flavus* à travers le tégument. De même, K. Koidsumi [6] a trouvé que les larves de *Bombyx mori* (vers à soie) et de *Chilo simplex*

deviennent très sensibles à *A. flavus* et à d'autres champignons, quand on enlève leur couche épicuticulaire de lipides. L'action antifongique des lipides extractibles a été principalement attribuée aux chaînes d'acides gras saturés libres (probablement caprylique ou caprique) que l'on trouve dans la cuticule. Beaucoup de champignons pathogènes des végétaux trouvent une barrière analogue à leur pénétration dans la cuticule cireuse qui recouvre l'épithélium de la tige. Il semble qu'aucun champignon n'est capable de digérer par des enzymes la cuticule végétale, la pénétration des filaments de germination se faisant mécaniquement. Il est possible que l'épicuticule cireuse des insectes soit aussi franchie mécaniquement, bien que les mouvements des insectes puissent abraser suffisamment la cuticule pour permettre l'entrée du champignon. On sait que l'abrasion diminue grandement la résistance due à cette couche [6].

En 1934, C. L. Lefèbvre [3] a suggéré, à partir de ses propres observations, que la pénétration de la procuticule chitineuse était due à un ramollissement et une dissolution enzymatique, en plus de la pression mécanique. Cependant, ce n'est que récemment que l'on a pu démontrer directement l'existence d'une chitinase chez les champignons parasites d'insectes. J. Huber [7] a trouvé que les quatre parasites communs, *A. flavus*, *B. bassiana*, *Cordyceps militaris* et *Metarrhizium anisopliae* pouvaient hydrolyser la chitine en N-acétyl-glucosamine, mais il a été incapable de détecter de la D-glucosamine, qui se forme simultanément, quand la décomposition de la chitine est due à une bactérie.

Au lieu de percer directement le tégument, certains champignons paraissent entrer par les stigmates. P. Lepesme [8] a trouvé que *A. flavus* ne pouvait infecter le criquet, *Schistocerca gregaria*, de l'extérieur, si les stigmates étaient bouchés avec de l'ouate. Il a aussi trouvé que l'infection se fait plus rapidement par les stigmates thoraciques que par les abdominaux. Comme l'air entre principalement par les stigmates thoraciques et s'échappe par les abdominaux, on peut penser à une explication simple mais dont l'inexactitude a été révélée par la découverte de Lepesme de spores du champignon dans les trachées abdominales d'insectes naturellement contaminés. De plus, l'introduction naturelle ou artificielle de spores dans les trachées abdominales ne produit qu'exceptionnellement la maladie. Il en conclut que les tissus musculaires du thorax doivent favoriser la croissance des spores entrées par les stigmates thoraciques. C. E. Burnside [2] a trouvé que les spores d'*A. flavus* semblent incapables de germer dans les trachées de l'abeille et attribue ce fait à leur dessiccation, résultat de leur aération constante.

La réussite de l'infection à travers le tégument d'un insecte au-dessus du sol demande des conditions microclimatiques semblables à celles de l'infection des végétaux par les champignons, c'est-à-dire une température favorable et une forte humidité, maintenue assez longtemps pour permettre au filament de germination d'entrer dans l'hôte. L'infection par *Myiophagus ucrainicus* (Chytridinées) qui attaque les Ecailles et d'autres insectes, demande la présence d'eau libre dans laquelle les spores infectieuses flagellées peuvent nager. Au contraire, l'organe infectieux de certains champignons parasites d'insectes, particulièrement ceux où l'insecte infecté se trouve dans le sol, peut ne pas être une spore mais un mycelium végétatif, par exemple, *Isaria farinosa* (figure 1).

L'infection se fait communément à travers les parois du tube digestif, souvent en plus de l'infection à travers le tégument. Ainsi *A. flavus* et *B. bassiana* ont souvent été observés infectant des insectes par les deux voies et il est probable qu'il en est de même pour *Sorosporella uvella* [9]. L'infection par l'intestin dépend de conditions plutôt spéciales. Les spores doivent rester viables en présence des sucs digestifs de l'insecte et doivent être capables de germer dans les conditions physiques ou chimiques régnant, au moins quelque part, dans l'intestin. Le filament de germination doit pouvoir traverser la paroi digestive. L'humidité externe n'affecte pas directement le phénomène. Les conditions dans le tube digestif diffèrent entre les différentes parties. Par exemple, dans l'intestin antérieur le *p*H dépend largement de la nourriture de l'insecte. Dans l'intestin moyen, il varie entre 3 et 10 suivant les espèces et chez un individu peut même varier entre les différentes parties de l'intestin moyen. Dans l'intestin postérieur, la variation du *p*H offre rarement les extrêmes rencontrés dans l'intestin moyen. On peut donc s'attendre à ce que le lieu d'infection du champignon soit assez spécifique, mais il n'existe que peu de renseignements à ce sujet. Sussman [1] a observé qu'*A. flavus* pénétrait à travers l'intestin postérieur de *P. cecropia*.

Burnside [2] conclut que l'action pathogène des champignons qui attaquent les abeilles à travers le tube digestif semble déterminée par la faculté de leurs spores et de leur mycelium à résister à l'action des liquides intestinaux. Il trouve que seules les spores provenant de vieilles cultures d'une

souche particulière d'*Aspergillus ochraceus* pouvaient infecter des abeilles par le tube digestif. Quand les spores vieillissent leurs parois deviennent plus épaisses et plus dures, modifications qu'il considère augmenter leur résistance aux sucs digestifs. Il suggère qu'après la germination les sucs digestifs de l'abeille n'auraient pas d'effet sur le jeune mycelium. Une autre explication est d'admettre qu'avant de germer les spores ont dépassé la région du tube digestif où leur viabilité est menacée.

La pénétration et les stades étroitement associés de l'infection provoquent parfois immédiatement des symptômes locaux. Souvent la réaction n'est pas spécifique du champignon et comporte la production de pigment noir [1, 10, 11]. Il peut y avoir en plus des réactions locales des tissus vivants. Chez *Galleria mellonella*, l'hypoderme se sépare souvent de la procuticule et dans l'espace ainsi formé s'accumulent des cellules sanguines formant une sorte d'abcès [10]. Chez les larves de Doryphore, le point infecté par *M. anisopliae* se gonfle comme un furoncle, dû à la formation d'un coussin de mycelium dans la paroi du corps, qui devient si gros que la cuticule se rompt au-dessus [11].

COLONISATION DE L'HÔTE INFECTÉ

Il existe deux voies principales de pénétration du champignon pour coloniser l'hôte. L'une correspond à une simple croissance du mycelium, l'autre à la séparation de cellules isolées, appelées conidies, gonidies cylindriques, corps mycéliens ou blastocystes suivant les différents auteurs. Ces cellules isolées circulent dans le sang, soit en s'y multipliant, soit en étant seulement transportées vers des points variés d'infection secondaire. Chez certains champignons, la multiplication de telles cellules amène tôt ou tard la formation d'hyphes, mais chez d'autres ces cellules donnent naissance à des filaments sporogènes ou se transforment elles-mêmes en spores. *A. flavus* paraît toujours envahir à l'état de mycelium [1, 2, 8, figure 2]; *M. anisopliae* peut coloniser suivant les deux méthodes, tandis que *Saccharomyces* spp. [2], *S. uvella* [9], *E. fumosa* [12] et de nombreuses espèces d'*Empusa* [13] produisent tous des cellules qui circulent dans le sang.

En colonisant son hôte, le champignon suit généralement un schéma défini de distribution et d'abondance entre les différents types de tissus. Parfois le sang est le siège d'une abondante prolifération, particulièrement pour les champignons où les cellules libres constituent un stade important du cycle de vie, par exemple: *Saccharomyces* spp., *S. uvella* et certaines espèces d'*Empusa* et d'*Entomophthora*. *E. fumosa* [12] et de nombreuses levures pathogènes [2] peuvent produire tant de cellules libres dans le sang que celui-ci devient laiteux. Ces cellules peuvent fournir des substances, probablement des enzymes, qui provoquent la désagrégation d'autres tissus [9].

La distribution de l'agent pathogène par la circulation sanguine est passive. C'est dans l'invasion mycélienne qu'une préférence positive pour certains tissus se manifeste communément. Chez les Entomophthorées il y a fréquemment attaque précoce du corps gras et prolifération dans celui-ci. Par exemple, les filaments de germination d'*Empusa muscae* se dirigent directement vers le corps gras de la mouche domestique et, en culture artificielle, montrent une réaction analogue à la présence de graisse [4]. *A. flavus* sur les larves de *P. cecropia* [1] et *B. bassiana* sur celles de *Pyrausta nubilalis* [3] réalisent de même une attaque précoce du corps gras. Après invasion du corps gras, *B. bassiana* s'attaque aux glandes sericigènes et aux tubes de Malpighi, puis au revêtement chitineux des intestins antérieur et postérieur; c'est seulement ensuite qu'il attaque les muscles, le système nerveux et les gonades. Au contraire, *A. flavus* n'a jamais été trouvé sur des *S. gregaria* malades, mais encore vivants, autre part que dans les muscles et les essais de culture sur corps gras excisé ont échoué [8]. Cet effet doit probablement être attribué à un constituant du corps gras autre que les graisses, le glycogène, ou les protéines qui y abondent. De même, les levures pathogènes injectées dans des abeilles adultes se développent plus abondamment sur les fibres musculaires du thorax où, baignées par le flot sanguin, elles se multiplient sans changer de position [2]. Ici cependant, la distribution de l'agent pathogène dépend davantage de l'anatomie de l'hôte que des prédilections du champignon. Chez les mouches domestiques et les larves de doryphores vivantes infectées par *M. anisopliae*, le champignon ne se trouve que dans des régions de la paroi du corps et dans le sang. C'est seulement après la mort que le système nerveux, les muscles et le corps gras sont envahis et consommés [11]. Il est important de distinguer entre les phases parasite et saprophyte de la colonisation, car l'existence d'une résistance vitale de certains tissus ou organes particuliers peut autrement passer inaperçue.

Une barrière physique peut influer sur le déroulement de l'infection. Le mâle adulte de la cigale, *Tibicina septendecim*, contient un sac vide dans la partie antérieure de l'abdomen, et une partie de ce sac forme un septum transversal dans la cavité générale. Le champignon *Massospora*

cicadina (Entomophthorée) qui attaque cette cigale se développe seulement sur les génitalia et les organes postérieurs à ce septum et y forme ses conidies. Quand l'infection aboutit à la production de spores de durée, le septum est détruit par le mycelium végétatif et les masses de spores peuvent atteindre la partie antérieure, autrement vide, de l'abdomen [14].

PRODUCTION DES SYMPTÔMES DE LA MALADIE

Un des symptômes de comportement les plus communs, et habituellement le premier à se manifester, est la perte de l'appétit, le plus souvent accompagné d'une agitation qui conduit l'insecte à abandonner sa source de nourriture [15]. Les abeilles infectées par *Aspergillus* essaient continuellement de s'échapper des essaims d'abeilles en bonne santé et continuent à s'agiter quand le reste de la colonie est au repos [2]. Cette agitation conduit fréquemment les insectes souffrants à monter sur les tiges et les feuilles où leur mort se produit dans des positions favorables à une dispersion efficace des spores de l'agent pathogène [15, 16]. Les mouvements des insectes malades sont généralement faibles et plutôt mal coordonnés [1, 2, 9, 12]; ceci peut résulter d'une paralysie partielle. *A. flavus* peut paralyser seulement une région ou un côté des abeilles ou des criquets infectés, si bien que certains membres deviennent inertes [2, 8]. Chez l'abeille cette paralysie correspond à un ramollissement enzymatique des muscles. De plus, il se forme une toxine, détectable *in vitro*, qui produit des symptômes visibles chez les abeilles dans les quatre heures de l'ingestion et les tue en dix heures [2]. Lepesme [8] a attribué la paralysie des criquets par *A. flavus* à la présence physique du champignon dans les muscles, mais ici aussi les muscles peuvent se transformer en une pulpe brunâtre. *B. bassiana* paralyse aussi, quelquefois au moins, très rapidement les insectes attaqués. E. Dresner [17] a trouvé que les mouches domestiques adultes saupoudrées de ses spores et maintenues à une humidité relative de cent pour cent, sont paralysées entre une demie heure et trois heures plus tard; on présume qu'une toxine diffuse dans le corps de l'insecte.

Les changements de couleur des insectes infectés sont de différents types. Certains résultent de la couleur du champignon lui-même ou de pigments qu'il produit; d'autres sont le résultat de mélanisations. Les larves de noctuelles infectées par *S. uvella* virent au blanc crème, un ou deux jours avant la mort, et, si on les pique, le sang qui sort est blanc, à cause de l'abondance de cellules libres du parasite. Les taches brun rougeâtre qui apparaissent parfois peu avant la mort, sont dues à la présence de spores de durée de cette couleur [9]. De la même manière, les spores de durée de *Coelomomyces* spp. colorent les larves de moustiques infectées en brun rouille. Les taches ocrées qui apparaissent sur le thorax du criquet pélerin adulte infecté par *A. flavus* sont attribuées par Lepesme [8] à un pigment jaune sécrété par le champignon dont la distribution du mycelium correspond à celle des taches. Ce champignon produit aussi des granules de mélanines dans le thorax du criquet et provoque une réaction mélanique du sang de la larve de *P. cecropia*. Bien que cette réaction puisse être inhibée chez les animaux malades par des composés chélatant du cuivre, la mort se produit encore [18]. Les larves de *Malacosoma* spp. infectées par *Empusa megasperma* virent au brun ou au noir, et, dans trois espèces, les insectes malades contiennent des quantités de cristaux jaunes de composition inconnue [13]. Au contraire, *Empusa planchoniana* provoque chez certains aphides un virage de leur couleur normale noire, au rouge brique.

Sussman [19] a étudié quelques modifications physiologiques en rapport avec l'attaque d'*A. flavus* sur les chrysalides de *P. cecropia* et a trouvé que la quantité d'oxygène utilisé par les chrysalides et le champignon s'accroît rapidement au cours des premiers jours de l'infection. La vitesse de la perte de poids des chrysalides infectées est environ sept fois plus forte que celle des chrysalides en bonne santé.

OPPOSITION À L'INVASION PAR LE CHAMPIGNON

On a déjà mentionné la propriété défensive de la cuticule. Son importance est indiquée par le fait que de nombreux champignons qui parasitent rarement, ou jamais, les insectes, peuvent les tuer rapidement si on les injecte directement dans la cavité générale [2, 10]. Le sang présente une nouvelle défense, car les spores ou les cellules libres du champignon sont habituellement soumises aux attaques des phagocytes qui tentent de les ingérer et de les détruire. A. T. Speare [9] a trouvé que les cellules de *S. uvella* chez les hôtes sensibles, soit n'étaient pas ingérées par les cellules sanguines, soit survivaient à l'ingestion. Au contraire, le champignon ne survit pas dans le sang d'insectes résistants, sauf s'il est introduit en si grandes quantités que les phagocytes sont apparemment incapables d'en venir à bout. Quand on

F
le

F
p
n

FIGURE 1 – *Fructifications de* I. farinosa *sur une chrysalide de lépidoptère infectée et morte.*

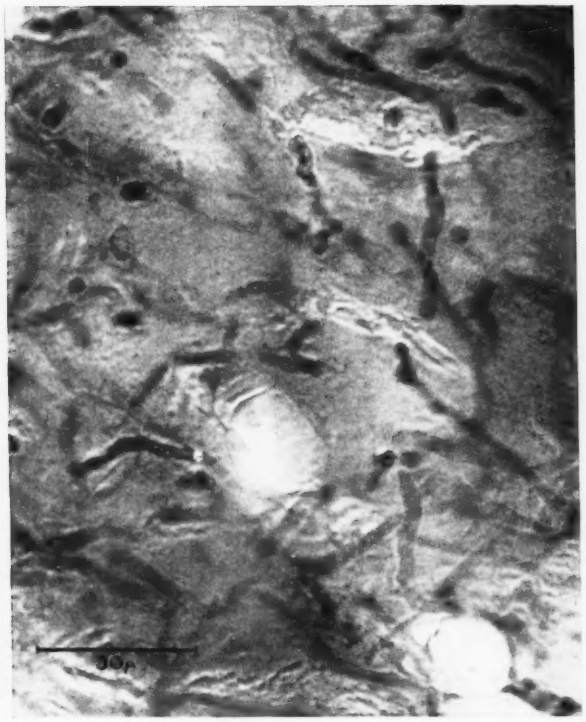

FIGURE 2 – *Mycelium d'*A. flavus *dans les muscles alaires d'un criquet* (S. gregaria) *au moment de la mort.*

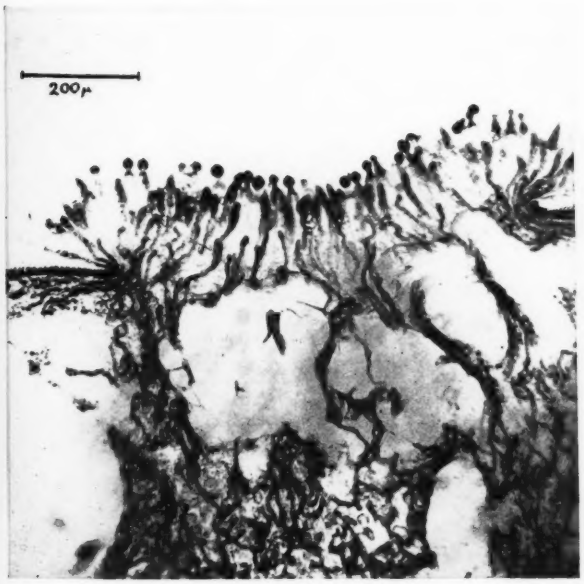

FIGURE 3 – *Coupe longitudinale de l'abdomen d'une mouche tuée par* E. muscae, *montrant la sortie des sporangiophores à travers la membrane intersegmentaire rompue.*

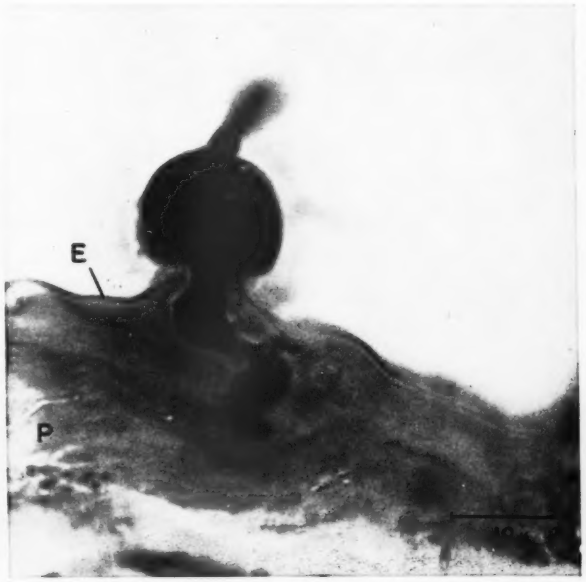

FIGURE 4 – *Sortie avant la mort d'un hyphe isolé d'*A. flavus *à travers le tégument thoracique d'un criquet. Les hyphes sont gonflés, aussi bien avant qu'après le passage de l'épicuticule* (*E*). (*P, procuticule chitineuse.*)

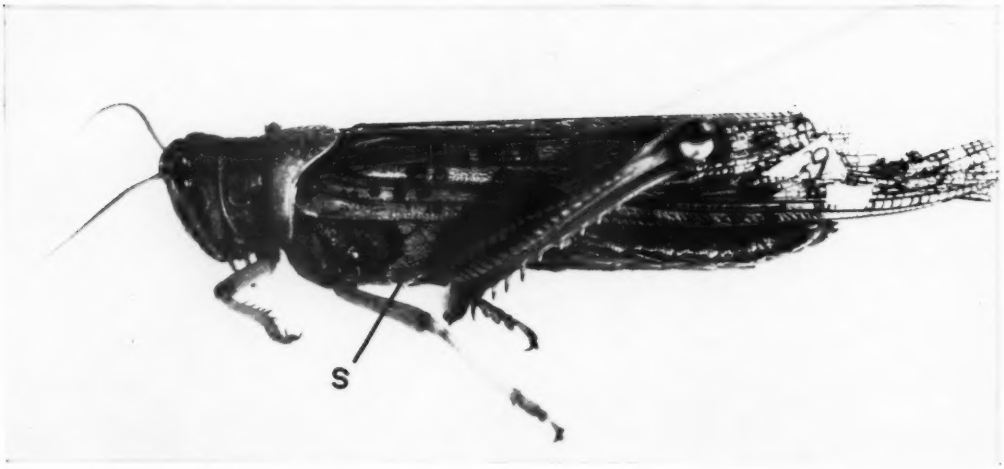

FIGURE 5 – *Criquet pélerin adulte* (S. gregaria) *deux jours après la mort provoquée par* A. flavus. *Les hyphes sont sortis à travers les membranes articulaires à la base de la patte postérieure et ont formé une pustule de spores* (*S*).

FIGURE 6 – *Surface dorsale du thorax d'un criquet adulte malade, avec ses ailes étendues, montrant la sortie avant la mort des hyphes d'*A. flavus *à travers les membranes articulaires à la base des ailes.* (*W, aile; P, pronotum; F, champignon.*)

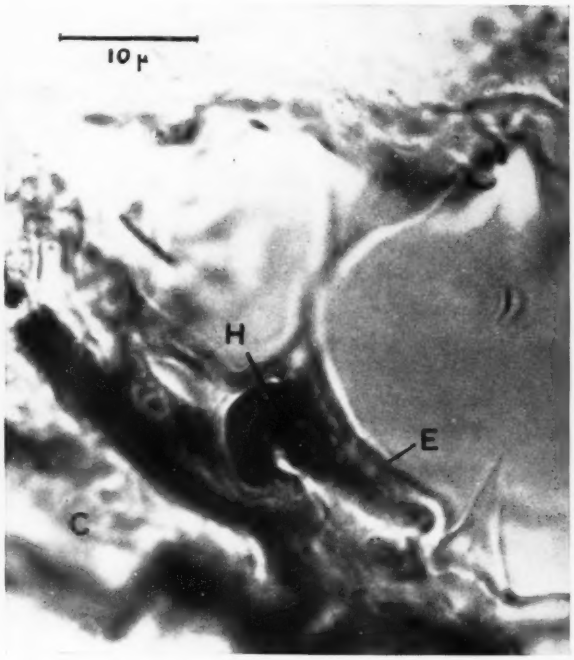

FIGURE 7 – *Coupe à travers un pli aigu d'une membrane articulaire à la base de l'aile du criquet de la figure* 6. *Le mycelium perce la procuticule chitineuse* (*C*), *mais paraît être géné dans sa sortie par la mince épicuticule* (*E*) *qui a affecté la forme d'un hyphe* (*H*).

injecte à des larves de *P. cecropia* des spores du champignon pathogène *A. flavus* et de l'inoffensif *A. niger*, les phagocytes ingèrent plus de spores d'*A. niger* que du parasite. Cependant, même les spores survivantes d'*A. niger* ne germent pas, ce qui suggère la présence de substances inhibitrices pour cette espèce [1]. Les spores de *A. luchuensis* injectées dans la cavité générale de *P. cecropia* ne se développent pas parfois, parce qu'elles sont isolées par les cellules sanguines et celles de l'épithelium, mais les spores plus virulentes d'*A. flavus* subissent moins fréquemment ce sort [5]. Les spores de champignons introduites dans les chenilles de *G. mellonella* peuvent être enveloppées par des cellules géantes d'une manière analogue [10].

COMPORTEMENT DU CHAMPIGNON PRÉCÉDANT LA MORT

Tant que l'insecte atteint reste vivant, le champignon parasite est ordinairement entièrement végétatif. Cependant, certains champignons, sur certains hôtes, commencent à sporuler avant la mort de l'hôte, comme il arrive avec *S. uvella* sur les agrotis des moissons [9]. L'exemple le plus frappant est celui de *M. cicadina* sur *T. septendecim*, sur les adultes desquels il produit des conidies, ou spores de durée, dans une grande partie de l'abdomen d'un hôte encore vivant. Le champignon attaque les membranes intersegmentaires de l'abdomen, si bien que les derniers segments tombent progressivement pour mettre à nu une pustule de spores, qui sont dispersées par l'insecte mourant, qui rampe ou vole çà et là [14]. Probablement voisin de *M. cicadina*, *Zygaenobia intestinalis* infecte l'épithelium de l'intestin moyen des larves de *Zygaena carniolica* et décharge ses conidies dans le tube digestif, la dispersion se faisant avec les excréments.

Les hyphes mycéliens peuvent aussi sortir de l'hôte quand il est encore vivant (voir figure 6). R. Thaxter [15] a vu un papillon géométride adulte s'agiter pour se libérer d'une aiguille de pin à laquelle il était attaché par des rhizoïdes d'*Empusa geometralis*, sortis de son abdomen.

MORT DE L'INSECTE HÔTE

Le temps séparant l'infection de la mort dépend du champignon, de l'insecte et des conditions du milieu, mais habituellement il est de deux à sept jours, bien que parfois plus long. Il est peu probable qu'un seul mode d'action du champignon soit responsable de la mort de l'insecte; pourtant de nombreux chercheurs ont attribué des rôles importants à des facteurs particuliers comme l'histolyse par des sécrétions, et probablement des enzymes [2, 8, 9]; la destruction des cellules sanguines [11]; la production de toxines [2], et l'action mécanique [2]. Sussman [19] suggère qu'une des manières dont *A. flavus* tue les chrysalides de *P. cecropia* est son action sur le fonctionnement des stigmates et des trachéoles, soit directe, soit résultant de la destruction du système nerveux. Les trachéoles et les ganglions sont en effet attaqués par ce parasite.

Il est clair que beaucoup de facteurs peuvent à eux seuls provoquer la mort de l'hôte ou y contribuer. Les facteurs importants dont dépend l'action pathogène du champignon sont ceux qui amènent l'insecte à un état morphologique ou physiologique où la mort devient inévitable.

COMPORTEMENT DU CHAMPIGNON APRÈS LA MORT

Le comportement du champignon après la mort de l'hôte est intéressant pour les mycologues et important pour les épidémies, puisqu'il concerne la production des spores et leur dissémination. Souvent cette dissémination commence même avant la mort, quand l'insecte mourant grimpe dans une position élevée, et y meurt attaché à son support par l'étreinte de ses pattes paralysées ou par les hyphes sortis de son corps.

Fondamentalement, il y a trois phases après la mort qui concernent à la fois insecte et champignon. D'abord le champignon, maintenant saprophyte, achève la colonisation et la digestion de l'insecte mort, autant qu'il le peut. Puis le champignon sort du tégument, qui persiste généralement après la digestion des tissus mous internes. Enfin le mycelium qui émerge forme les organes de reproduction du champignon. Cette succession est habituellement respectée, quand les conditions sont favorables à la propagation du parasite, dans une population d'insectes. Mais le champignon produit parfois des spores de durée, au lieu de spores infectieuses, et celles-ci peuvent alors subsister dans le corps de l'hôte.

Bien que le corps de l'hôte devienne parfois flasque, dans la phase parasite d'une mycose [1, 9], le durcissement après la mort est un phénomène commun et il est quelquefois provoqué simplement par la présence du champignon lui-même [2]. La plupart des espèces de *Cordyceps* et aussi *I. farinosa* momifient leurs hôtes, si bien qu'ils deviennent essentiellement des sclérotes contenus dans le tégument persistant de l'hôte. Cependant, il arrive quelquefois que l'intérieur de l'insecte tué se liquéfie et que le champignon ne sporule pas.

Ceci est dû à l'histolyse de l'hôte par des organismes secondaires, principalement des bactéries de sa flore intestinale [2, 17].

La sortie du champignon demande la perforation de la cuticule chitineuse, tâche généralement déjà accomplie lors de la pénétration du champignon dans l'hôte. Cette sortie se fait habituellement au niveau des membranes intersegmentaires [2, 8, 11; voir aussi figures 3 et 5]. Le fait que chaque hyphe fasse sa propre perforation, au moins dans les premiers stades, suggère que la chitinase du champignon joue un rôle (voir figures 4 et 7). Parfois le champignon se sert d'autres points faibles du tégument, comme les stigmates, les pores des glandes cirières et les points d'insertion des écailles. Une fois à l'extérieur de l'hôte, le mycelium peut produire plus ou moins directement des conidiophores, comme il arrive chez de nombreuses Entomophthorées, ou continuer son développement pour former une couche lâche ou compacte à la surface de l'hôte. Il peut aussi croître perpendiculairement à la surface de l'hôte pour donner une touffe d'hyphes fertiles ou une fructification compacte, comme dans les espèces de *Cordyceps*.

Les spores produites à l'extérieur de l'hôte sont ordinairement celles qui disséminent la maladie. Cependant, beaucoup de champignons, particulièrement de phycomycètes, produisent aussi des spores de durée à l'intérieur de l'hôte. Dans un très petit nombre d'espèces d'*Empusa* et d'*Entomophthora* les spores de durée se forment sur le mycelium externe [13, 15]. On observe, ou on suppute, assez aisément la façon dont les spores sont dispersées; mais ce qui leur arrive ensuite est souvent matière à conjectures. Le déroulement de l'infection dans beaucoup de mycoses d'insectes étudiées au laboratoire s'est révélé, dans ces conditions, très simple; mais il représente seulement une partie du cycle naturel. Les cycles d'infection naturels sont sans doute plus complexes, puisqu'ils demandent la survie du champignon dans les périodes défavorables; mais malheureusement nous n'avons ici que peu de renseignements. Le temps de survie des spores est important. Chez les Entomophthorées, les conidies restent viables très peu de temps; celles d'*E. muscae* perdent leur faculté de germination en trois à cinq jours [4]. Cependant, les conidies de *B. bassiana* et de *Metarrhizium* restent viables plus d'un an [10]. Les spores de durée ne font ordinairement l'objet d'aucune modalité spéciale de dissémination; celles de *M. cicadina* sont exceptionnelles [14]. Pour la plupart des Entomophthorées, elles se trouvent à l'intérieur de l'insecte mort et la plupart des essais pour les faire germer ont échoué [13, 15]. Cependant, Schweizer [4] a trouvé que les spores de durée d'*E. muscae* demandent un certain prétraitement avant de pouvoir germer. Dans la nature cette propriété est acquise durant l'hiver, mais on peut l'obtenir au laboratoire, en exposant les spores de durée à l'action de bactéries consommant la chitine, comme celles qui dans la nature contribuent à disloquer l'exosquelette de l'hôte. Après ce traitement, la paroi de la spore, d'abord chitineuse, devient gonflée et visqueuse et ne donne plus les réactions caractéristiques de la chitine; la spore peut maintenant germer. Au contraire, les spores de durée de *S. uvella* sont capables de germer aussitôt après leur formation et de rester viables, soumises à la sécheresse, au moins quatorze mois [9].

CROISSANCE NATURELLE SUR DES SUBSTRATS AUTRES QUE LES INSECTES

Les besoins nutritifs de beaucoup de champignons entomogènes sont complexes et il paraît donc invraisemblable que ces champignons puissent trouver, en dehors de leurs hôtes normaux, des conditions naturelles de croissance. *Entomophthora coronata* (= *Conidiobolus villosus*) paraît être la seule espèce d'Entomophthorées vivant sur les insectes, dont on ait signalé la croissance dans la nature sur un autre milieu qu'un corps d'insecte. Cependant des champignons beaucoup moins spécialisés, comme *Aspergillus* spp. [2, 8, 20] se trouvent naturellement sur d'autres substrats. Pour de tels champignons une reprise du saprophytisme peut être un mode important de survie, quand des formes de résistance manquent dans le cycle de vie. On croit généralement que *I. farinosa*, *B. bassiana* et *M. anisopliae* peuvent survivre dans le sol, même s'ils n'y croissent pas véritablement. J. Huber [7] a trouvé que la croissance des deux dernières espèces, ainsi que celle de *C. militaris* et de *A. flavus* était inhibée par les microorganismes présents dans certains sols, mais il ne s'ensuit pas nécessairement que de telles conditions existent dans tous les sols [16].

CARACTÉRISTIQUES PHYSIOLOGIQUES DES CHAMPIGNONS ENTOMOGÈNES

L'incapacité de pénétrer dans le corps de l'insecte empêche certains champignons d'être pathogènes, mais ce n'est certainement pas le seul facteur, car certaines espèces de *Penicillium* [20] et *Aspergillus niger* [1] ne tuent pas les chrysalides de *Platysamia cecropia*, même si on les injecte. Sur

vingt espèces d'*Aspergillus* injectées dans ces chrysalides, six seulement étaient léthales, appartenant principalement au groupe *A. flavus-oryzae*. Cependant des espèces vivant aux dépens des insectes sont connues dans onze des quatorze groupes de ce genre [20].

Nos connaissances actuelles des caractéristiques physiologiques des champignons entomogènes ne nous permettent pas d'établir une corrélation très étroite entre celles-ci et l'action pathogène. Au sujet de leur pouvoir digestif, on a démontré l'hydrolyse extracellulaire de graisses dans les cultures artificielles d'*A. flavus*, de *B. bassiana*, *C. militaris*, *M. anisopliae* [7] et *E. muscae* [4]. Une activité protéolytique existe chez *B. bassiana*, *C. militaris* [7], *A. flavus* [2, 7], *A. effusus*, *A. fumigatus* [2] et chez certaines Entomophthorées. On a détecté une glycogénase chez *M. anisopliae* [7]. *A. flavus*, *B. bassiana*, *C. militaris* et *M. anisopliae* produisent une chitinase, mais la présence de quantités convenables de carbone et d'azote faciles à utiliser supprime la digestion de la chitine par ces champignons [7]. Les données acquises concernent seulement un petit nombre d'espèces; mais celles-ci comprennent les plus répandues et les plus communes, qui sont aussi généralement les plus nocives pour les populations d'insectes. On connaît ainsi chez les champignons d'insectes des chitinases, lipases, protéases et glycogénases extracellulaires, certainement en rapport avec la composition grossière de l'insecte en tant que milieu nutritif.

Il paraît n'y avoir aucune relation entre la quantité de protéase produite par les espèces d'*Aspergillus* et leur virulence [2]. De même, Huber [7] a trouvé que les différences quantitatives existant entre les capacités de *A. flavus*, *B. bassiana*, *C. militaris* et *M. anisopliae* à décomposer les graisses, le glycogène, les protéines et l'urée n'ont pas de relation avec l'importance pathogène. Cet auteur suggère que, dans les souches utilisées, la digestion de la chitine était plus forte pour *A. flavus* et *M. anisopliae* que pour *B. bassiana* et *C. militaris*, à cause du temps plus court passé par les deux premières espèces en culture artificielle. C'est en effet une expérience commune que les champignons parasites d'insectes perdent de leur virulence après culture artificielle prolongée, bien que l'on ait signalé des exceptions. Au contraire, on peut accroître la virulence d'*A. flavus* vis-à-vis des criquets en faisant des passages successifs sur des hôtes sensibles [8]. Il doit être possible de relier ces changements à des modifications de pouvoir digestif.

Les champignons entomogènes montrent des degrés très divers de spécificité d'hôte. Certaines espèces les plus communes comme *Beauveria* spp., *M. anisopliae* et *Aspergillus* spp. sont communes parce qu'elles infectent un grand nombre d'espèces très diverses d'insectes. Les champignons qui manifestent une grande spécificité d'hôte offrent un grand intérêt physiologique. D. M. MacLeod [21] a trouvé que si les champignons comme *B. bassiana*, *I. farinosa* et *M. anisopliae*, qui ont des besoins nutritifs simples, vivent sur de nombreuses espèces d'insectes, ceux qui ont des besoins plus étroits, comme certaines espèces de *Spicaria* ou de *Hirsutella*, paraissent limitées chacune à un hôte particulier. Huber [7] a trouvé de même que *Pericystis apis* a des besoins nutritifs très spéciaux, manifestement en relation avec sa limitation à un seul hôte: l'abeille; un constituant du lait écrémé ou de l'extrait de levure satisfait ce besoin. Il n'a pu établir aucune corrélation entre la faculté d'utiliser différents hydrates de carbone et la spécificité d'hôte dans cette espèce et de nombreuses autres. Parmi les phycomycètes vivant sur des insectes, *Entomophthora apiculata* a des besoins nutritifs simples, au moins pour la partie végétative du cycle [22], et on le trouve sur trois ordres d'insectes différents [15]. Au contraire, *Empusa muscae*, qui demande pour son développement normal et complet en culture artificielle certaines substances thermolabiles et des graisses [4], ne se trouve que sur certains diptères.

Il est invraisemblable que la seule base de la spécificité d'hôte soit d'ordre nutritif, car un tel facteur ne peut agir qu'après la pénétration du champignon à travers le tégument de l'insecte. La démonstration, faite par Koidsumi, de la présence de lipides antifongiques dans les cuticules d'insectes [6] suggère une autre sorte de base. Des différences entre les contenus en substances antifongiques, dans les cuticules de différentes espèces d'insectes, et des différences dans les sensibilités des champignons à de telles substances, peuvent conduire à des combinaisons particulières hôte-parasite. Un autre facteur peut être l'existence de différents degrés de susceptibilité aux défenses phagocytaire et humorale du sang de l'hôte. La gamme des hôtes doit aussi être influencée par la chance, puisque le champignon doit se trouver au contact de l'insecte avant que l'infection puisse se produire. On croit que la rareté des mycoses chez les cérambycidés est liée à l'isolement des stades jeunes de ces insectes à l'intérieur du bois de la plante hôte, au cours du développement [23].

Il est probable que des facteurs analogues à ceux

qui gouvernent la spécificité d'hôte, forment aussi la base des changements communément observés dans la sensibilité, survenant aux différents stades du développement de l'insecte. De l'œuf à l'adulte, celui-ci passe par des stades très différents de forme, d'habitat et de physiologie et ces modifications créent des conditions favorables à l'infection par certains agents pathogènes particuliers.

ASPECT ÉCONOMIQUE DES CHAMPIGNONS ENTOMOGÈNES

On a souvent tenté d'utiliser les maladies cryptogamiques des insectes pour en limiter les pullulations, mais relativement peu d'essais ont été couronnés de succès [24]. La méthode est cependant valable, comme le démontre l'exemple de la limitation de deux pullulations sur les pommiers en Nouvelle-Ecosse vers 1920 par la dissémination artificielle d'*Empusa* et d'*Entomophthora*. Les raisons de beaucoup d'échecs constatés sont multiples, mais un fait important est que beaucoup de chercheurs n'ont pas apprécié pleinement les facteurs et principes mis en jeu. Pour être efficace la limitation demande la création d'une épidémie dans une population. Puisque la mortalité par maladie contagieuse dans une population dépend de sa densité, un insecte doit être particulièrement dense, pour qu'on puisse envisager cette lutte. Un climat humide est aussi généralement nécessaire. Beaucoup de chercheurs n'ont pas non plus distingué clairement entre les deux principales manières d'emploi du champignon: comme insecticide, pour une destruction immédiate des populations d'insectes, ou comme agents biologiques à long terme, pour abaisser le niveau des populations [25]. La destruction totale d'une population est virtuellement impossible par le contrôle biologique et ceci paraît être une des raisons pour lesquelles, au début, on a abandonné beaucoup de tentatives au profit des insecticides chimiques. Pour réduire le niveau d'une population d'insectes, la principale condition est que le champignon puisse persister comme facteur de contrôle; pourvu qu'il puisse rester actif dans les populations suffisamment clairsemées pour être économiquement acceptables, son utilisation devrait être praticable. L'usage d'agents de contrôle microbiens a plus de chances de succès quand il s'agit de récoltes où le coût d'un petit dommage dû aux insectes reste supportable [25].

Le contrôle biologique des insectes par les champignons a beaucoup de limitations [24], mais il présente par contre beaucoup d'avantages, comme la spécificité d'action et une action permanente. L'absence de résidus toxiques est un avantage supplémentaire, qui peut en faire une solution très attrayante dans des conditions favorables.

Les champignons entomogènes qui se trouvent dans la nature exercent un contrôle sur des populations diverses d'insectes, particulièrement sous les climat chauds et humides. On doit considérer l'importance de ces champignons pour prévenir les conséquences peut-être indésirables de vaporisations de fongicides. On connaît de nombreux cas d'accroissements de populations d'insectes nuisibles, par exemple sur *Citrus* en Floride, dus à la destruction par de telles vaporisations des champignons qui limitent les pullulations.

Les champignons entomogènes sont aussi économiquement importants à cause des dégâts qu'ils peuvent produire sur les insectes utiles. Ils constituent par exemple un danger pour les abeilles et les vers à soie.

RÉFÉRENCES

[1] SUSSMAN, A. S. *Ann. ent. Soc. Amer.*, **45**, 233, 1952.
[2] BURNSIDE, C. E. *Tech. Bull. U.S. Dep. Agric.*, No. 149, 1930.
[3] LEFÈBVRE, C. L. *Ann. Bot., Lond.*, **48**, 441, 1934.
[4] SCHWEIZER, G. *Planta*, **35**, 132, 1947.
[5] SUSSMAN, A. S. *Mycologia*, **43**, 338, 1951.
[6] KOIDSUMI, K. *J. Insect Physiol.*, **1**, 40, 1957.
[7] HUBER, J. *Arch. Mikrobiol.*, **29**, 257, 1958.
[8] LEPESME, P. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N.*, **29**, 372, 1938.
[9] SPEARE, A. T. *J. agric. Res.*, **18**, 399, 1920.
[10] BOCZKOWSKA, M. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **119**, 39, 1935.
[11] SCHAERFFENBERG, B. *Z. angew. Ent.*, **44**, 262, 1959.
[12] SPEARE, A. T. *Bull. U.S. Dept. Agric.*, No. 1117, 1922.
[13] MACLEOD, D. M. *Canad. J. Bot.*, **34**, 16, 1956.
[14] SPEARE, A. T. *Mycologia*, **13**, 72, 1921.
[15] THAXTER, R. *Mem. Boston Soc. nat. Hist.*, **4**, 133, 1888.
[16] BÜNZLI, G. H. et BÜTTIKER, W. W. *Bull. ent. Res.*, **50**, 89, 1959.
[17] DRESNER, E. *Contr. Boyce Thompson Inst.*, **15**, 319, 1949.
[18] SUSSMAN, A. S. *Ann. Ent. Soc. Amer.*, **45**, 638, 1952.
[19] *Idem. Mycologia*, **44**, 493, 1952.
[20] *Idem. Ibid.*, **43**, 423, 1951.
[21] MACLEOD, D. M. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **60**, 58, 1954.
[22] WOLF, F. T. *Bull. Torrey bot. Cl.*, **78**, 211, 1951.
[23] GARDINER, L. M. et MACLEOD, D. M. *Canad. Ent.*, **91**, 62, 1959.
[24] BAIRD, R. B. *Proc. X Int. Congr. Ent.* (1956), **4**, 689, 1958.
[25] BUCHER, G. E. *Ibid.*, **4**, 695, 1958.

Purification par zone fondue

par E. F. G. HERINGTON

La méthode d'affinage par zone fondue consiste à purifier une barre de matériau impur suivant une technique de chauffage dans laquelle une zone fondue se déplace le long de la barre. Développée lors des premiers essais d'obtention du germanium utilisé dans la réalisation des transistors, cette technique, qui a dans certaines applications présenté des avantages sur la distillation et la chromatographie pour la préparation de corps purs, a été appliquée à une très grande variété de substances. La théorie du procédé de la zone fondue, l'appareillage utilisé et quelques applications sont présentés dans cet article.

La technique moderne de l'affinage par zone fondue remonte à la découverte par W. G. Pfann en 1952 [1], de l'effet du passage d'une barre de germanium dans un four de faible longueur: une zone visqueuse se déplace le long de l'échantillon (figure 1). Il mit en évidence le fait que les impuretés tendent à être repoussées par la zone visqueuse; en répétant le procédé un certain

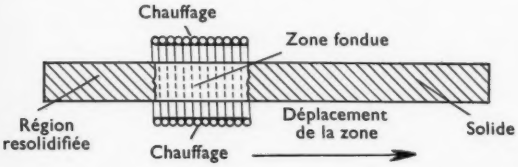

FIGURE 1 – *Diagramme représentatif d'une expérience de zone fondue.*

nombre de fois, un haut degré de purification était atteint: dans certaines expériences, le taux d'impureté se trouvait réduit à 10^{-9}. La technique développée dans la fabrication des transistors a été utilisée depuis pour un grand nombre de métaux et de composés minéraux et organiques. La théorie du procédé et quelques-unes de ses applications seront exposées dans cet article.

PRINCIPE DU RAFFINAGE PAR ZONE FONDUE

Lors du refroidissement d'un mélange liquide, la composition du solide cristallisé est généralement différente de celle du liquide: la purification des substances au moyen du procédé de la zone fondue est basée sur cette différence. L'étude de deux exemples simples d'équilibre solide-liquide montre quelques-unes des conditions qui se trouvent réalisées au cours des expériences. Dans un système dont le diagramme d'équilibre est du type représenté figure 2, le refroidissement du liquide de composition J produit la cristallisation du composant A pur lorsque la température correspondant au point L est atteinte. Si la composition initiale correspond au point J_1, le premier solide déposé sera le composant B pur.

Le comportement d'un mélange correspondant à une série de solutions solides est indiqué figure 5: ici une séparation se produit dans le solide de composition N lors du refroidissement du liquide J. Ce solide est plus riche en composant A que le liquide, mais il contient encore le composant B; si la composition initiale correspond au point J_1, alors le premier solide déposé sera de composition N_1. Ainsi le solide est plus riche en composant A que le liquide, quelle que soit la composition initiale du liquide.

Dans l'étude de la zone fondue pour des mélanges dont le diagramme d'équilibre est celui de la figure 5, il est commode de définir un «coefficient de fractionnement idéal» (k_1) par le

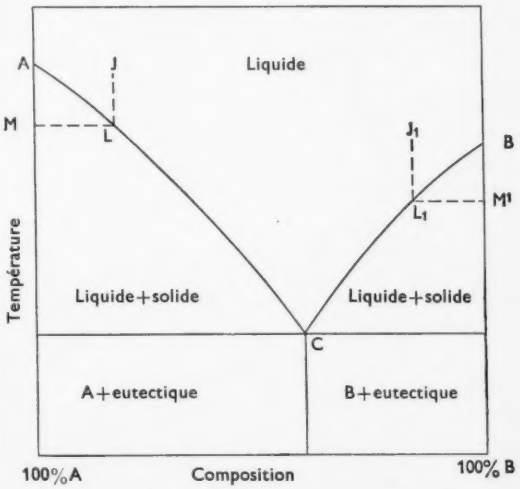

FIGURE 2 – *Diagramme d'équilibre d'un système à eutectique.*

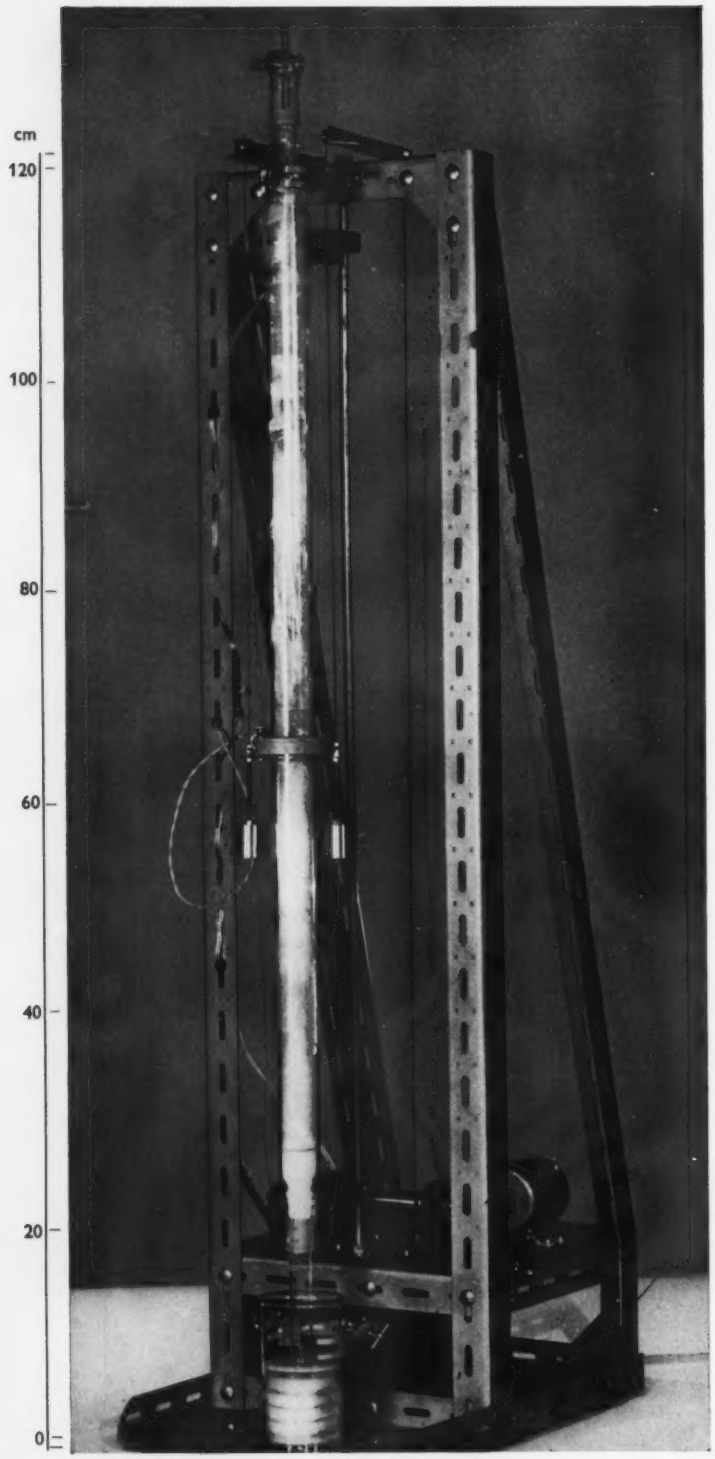

FIGURE 3 – *Appareil de purification de composés organiques. Noter la ligne noire indiquant l'impureté insoluble au voisinage du fond.* (Crown copyright *reservé.*)

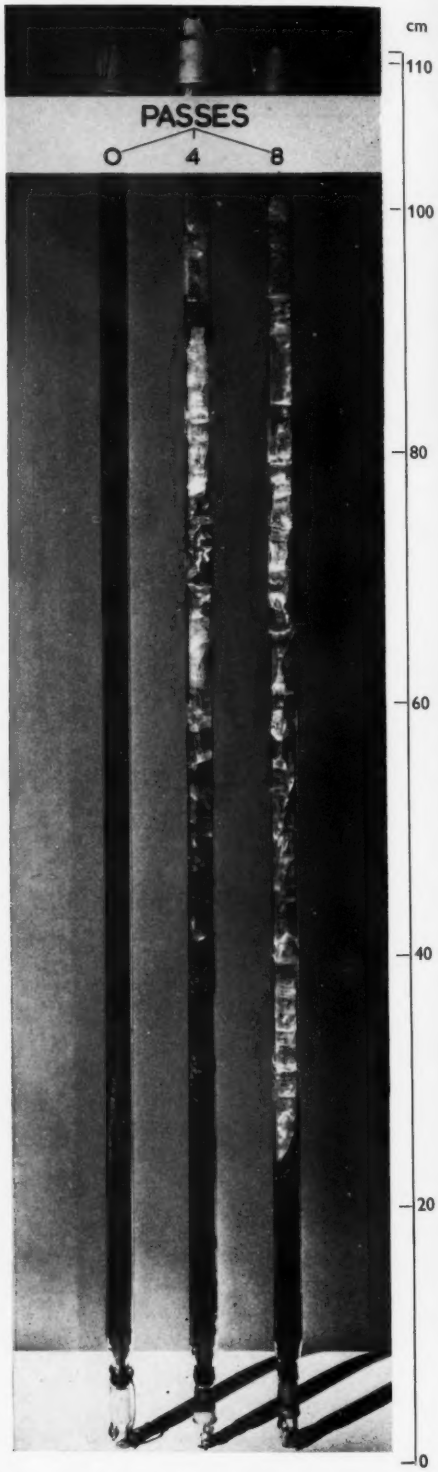

FIGURE 4 – *Le tube de gauche est rempli d'une solution à 0,03% d'induline dans le naphtalène. Le tube du centre et celui de droite ont été obtenus après le passage de 4 et 8 zones fondues respectivement.* (Crown copyright *réservé.*)

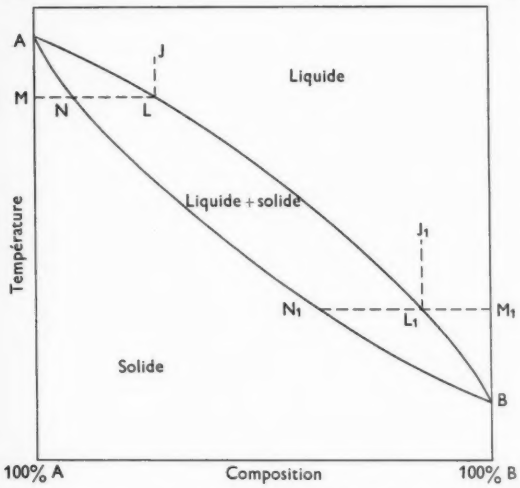

FIGURE 5 – *Diagramme d'équilibre d'un système présentant une série de solutions solides.*

rapport de la concentration en impureté dans le solide cristallisant, à la concentration en impureté dans le liquide avec lequel il est en équilibre. Lorsque la composition initiale est J, $k_1 = MN/ML$; lorsque la composition initiale est J_1, $k_1 = M_1N_1/M_1L_1$. La valeur de k_1 est donc inférieure à l'unité pour la composition J et supérieure à l'unité pour la composition J_1. La même définition de k_1 peut être adaptée pour des systèmes représentés par la figure 2, si l'on considère que dans cette figure N coïncide avec M. Dans de tels systèmes $k_1 = 0$ aussi bien pour les liquides de composition J que pour ceux de composition J_1.

Le procédé de la zone fondue est utilisé normalement pour des matériaux déjà très purs et par conséquent la théorie s'applique à des points du diagramme d'équilibre situés au voisinage des axes des ordonnées. Ainsi, dans les figures 2 et 5, J représentera des solutions contenant B sous forme d'impureté dans le composant A, tandis que J_1 représentera des solutions contenant une faible quantité de A dans B. Ces figures et l'étude d'autres types de systèmes permettent d'énoncer le résultat général suivant: k_1 est inférieur à 1 lorsque l'impureté abaisse le point de fusion du composant le plus important et k_1 est plus grand que 1 lorsqu'elle l'élève. Si la présence de l'impureté n'entraîne aucune modification du point de fusion du composant principal, $k_1 = 1$, et aucune séparation n'est possible par cette méthode. Au point eutectique C (figure 2), $k_1 = 1$: l'eutectique cristallise sans changement de composition.

En pratique le solide et le liquide n'atteignent jamais l'équilibre; on a affaire au coefficient de fractionnement effectif k: c'est le rapport de la concentration d'impureté dans le solide qui se dépose au cours d'une expérience, à sa concentration dans le liquide. Il se situe généralement entre k_1 et l'unité et approche k_1 lorsque la vitesse de déplacement de la zone diminue. Les substances à purifier contiennent souvent plusieurs impuretés, mais lorsque d'infimes traces sont seules présentes, il se produit une interaction faible entre leurs molécules. Ainsi, il est généralement possible de considérer des coefficients de fractionnement effectifs pour chaque impureté séparément.

La théorie montre que tandis que la distillation ne peut jamais conduire à un produit pur à 100%, le procédé de la zone fondue peut fournir un tel produit lorsque le mélange présente un diagramme d'équilibre du type indiqué figure 2. La méthode est en général plus efficace que la distillation pour des substances à peu près pures, disons à 99%; cependant, si la composition initiale est voisine de celle du mélange eutectique, la distillation peut être plus appropriée. L'avantage de la distillation est de traiter des tonnes de matériau suivant un procédé connu, tandis que les techniques développées ici ne font intervenir que quelques kilogrammes à la fois. D'autres procédés tels que la chromatographie en phases liquide ou gazeuse, ou par échanges ioniques, ne peuvent conduire à des substances absolument pures, mais peuvent être appliqués à des mélanges très impurs et sont valables dans le cas de composés organiques thermiquement instables bien qu'en général il soit difficile d'effectuer les manipulations sur de grandes quantités.

LES PROCÉDÉS DE PURIFICATION

Un mélange du type représenté figure 2 peut être en principe purifié au cours d'un seul passage: si la composition initiale est représentée par J, le composant A pur cristallisera après passage de la zone fondue. Ce processus se poursuivra jusqu'à ce que la partie restante de la barre atteigne la composition eutectique. En pratique, le liquide contenant une partie des impuretés est retenu dans les cristaux qui se développent. Cependant, par répétition, le degré d'impureté augmente dans les plus grands cristaux; moins d'impuretés sont retenues et la purification s'accélère. La figure 6 montre la répartition des impuretés après passage de 1, 10, 20 et un nombre infini de zones fondues à travers une barre initialement homogène pour laquelle la concentration en impureté est 1,0; k

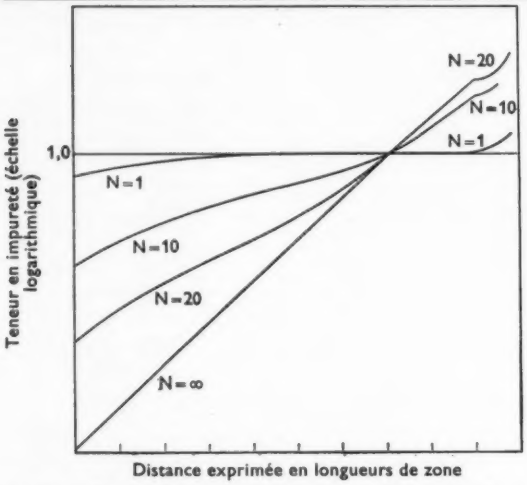

FIGURE 6 – *Concentration relative d'impureté le long d'une barre pour laquelle k est inférieur à* 1.

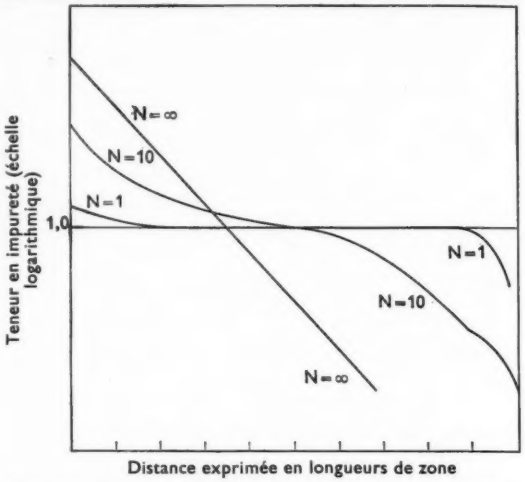

FIGURE 7 – *Concentration relative d'impureté le long d'une barre pour laquelle k est supérieur à* 1.

est une constante comprise entre 0 et 1. La figure montre qu'à aucun point de la barre, les impuretés ne peuvent être complètement éliminées pour une telle valeur de k. De plus, la théorie indique que la concentration ultime en impureté dans la première partie de la barre est d'autant plus grande que k est voisin de 1 et le nombre de passages doit être d'autant plus grand pour obtenir une répartition limite en impureté.

Il est possible de séparer par ce procédé des échantillons pratiquement purs de chacun des composants d'un mélange du type représenté figure 5; la barre sera essentiellement constituée par le composant A pur à une extrémité et par le composant B à l'autre extrémité. Pour les substances représentées par le point J_1, c'est-à-dire pour $k > 1$, un grand nombre de passages sera nécessaire, puisque l'impureté A se déplace dans la direction opposée à celle de la zone et qu'une molécule de A ne peut se déplacer de plus d'une longueur de zone au cours du passage. La figure 7 montre la répartition en impuretés obtenue pour un tel système après un nombre de passages N. Une substance contenant quelques impuretés pour lesquelles k est plus grand que 1 et d'autres pour lesquelles k est inférieur à 1 peut se trouver dans une barre dont la partie centrale est la plus pure.

CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

Dans des conditions données, la séparation maximale sera obtenue pour un nombre infini de passages de zones, mais d'un point de vue pratique il est évidemment important de connaître le plus petit nombre de passages permettant une séparation optimale. L'utilisation d'une zone étroite conduira à un haut degré de pureté. Une zone large produira des résultats plus rapides. Cependant, en pratique, une zone large est utilisée au cours des premières opérations, suivies par des passages pour lesquels la longueur de zone est 1/10 de celle de la barre. Le calcul montre [2] que pour $0{,}1 \leqslant k \leqslant 0{,}5$, la purification limite possible sera obtenue après 20 passages; pour une valeur voisine de l'unité, des centaines de passages peuvent être nécessaires.

La vitesse de déplacement est limitée par le fait qu'un mouvement trop rapide retiendra les impuretés dans les substances cristallisant. Une vitesse suffisamment basse pour l'établissement de l'équilibre sera cependant trop faible en utilisation courante. On a trouvé que des vitesses plus grandes — de l'ordre de 15 cm/h — peuvent être employées pour des métaux et non pour des substances organiques où des vitesses de l'ordre de 2,5 à 4 cm/h sont plus courantes. La purification des composés organiques de poids moléculaires élevés peut nécessiter des vitesses encore plus basses. Ce procédé peut être accéléré par déplacement d'un ensemble de fours et de refroidisseurs élémentaires réalisant simultanément plusieurs passages de zones.

Pour se placer dans des conditions de séparation maximale il faut que la zone liquide soit homogène et bien que la diffusion puisse réaliser un mélange suffisant, on utilise parfois des procédés d'agitation supplémentaires. Un dispositif adapté favorisera le mélange par convection et il est possible de faire en sorte que le four descende dans un tube

vertical; des courants de convection importants se produisent alors si l'on chauffe la partie inférieure plus que la partie supérieure de la zone. L'utilisation d'un tube vertical présente l'avantage supplémentaire de faire descendre vers le bas les impuretés insolubles (figure 3). Il faut cependant tenir compte des résultats physiques de la fusion: s'il y a étalement du solide lors de la fusion, la zone doit partir de l'extrémité supérieure du tube afin d'éviter une détérioration de l'appareil.

L'APPAREILLAGE

Le chauffage par rayonnement est le plus souvent employé. Des températures allant jusqu'à 3 500° peuvent être obtenues par concentration de l'énergie solaire et des températures de l'ordre de 2 000° sont atteintes au moyen de l'énergie rayonnée par chauffage électrique. L'appareil de la figure 3, entièrement automatique, est susceptible de traiter jusqu'à 1 kg de substances organiques [3]. Le système de chauffage consiste en un bobinage électrique muni d'un réflecteur en acier inoxydable et maintenu par deux filins qui lui permettent de descendre à une vitesse contrôlée. Lorsque ce système de chauffage arrive à la partie inférieure, il commande le commutateur d'un moteur électrique et un embrayage; ce dispositif remonte le chauffage vers le haut du tube où un autre commutateur le fait descendre à nouveau. Ce type d'appareil est maintenant commercialisé. La figure 4 indique quelques résultats obtenus par traitement d'un mélange à 0,03% d'une induline colorante bleue dans le naphtalène [4]. Le tube de gauche montre le produit initial et les autres tubes les séparations obtenues après 4 et 8 passages respectivement.

Le chauffage par rayonnement peut être utilisé pour la purification des substances à bas point de fusion, si l'appareillage est placé dans un milieu réfrigérant. Dans l'un des arrangements possibles, le spécimen est enfermé dans une enceinte annulaire, l'élément chauffant étant disposé au centre et l'ensemble entouré d'un liquide réfrigérant contenu dans un vase Dewar [5].

La figure 8 représente l'appareillage utilisé pour le traitement d'échantillons de composés organiques de poids compris entre 0,1 et 10 g. L'énergie d'une lampe de projection, L, placée au foyer d'un miroir ellipsoïdal MM_1, est concentrée sur l'échantillon placé au second foyer [6]. L'échantillon est contenu dans un petit tube entraîné par un moteur d'horloge électrique, E. Un filtre coloré, F, peut être interposé afin de protéger l'échantillon contre les effets de la lumière intense. Commercialement, il existe un système modifié de telle façon que la zone fondue est produite par l'énergie rayonnée par un fil résistant bobiné autour du tube. Des échantillons pesant quelques milligrammes ne peuvent pas être traités en tubes scellés, car il arrive que des bulles d'air soient retenues, mais G. Hesse et H. Schildknecht [7] ont évité cette difficulté en plaçant l'échantillon dans une cavité ménagée à cet effet dans la paroi du tube de verre.

Le procédé d'affinage par zone fondue flottante est souvent appliqué au traitement des matériaux

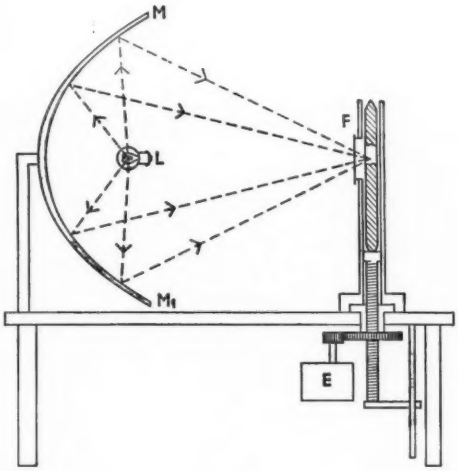

FIGURE 8 – *Semimicro-appareillage pour le procédé de la zone fondue.*

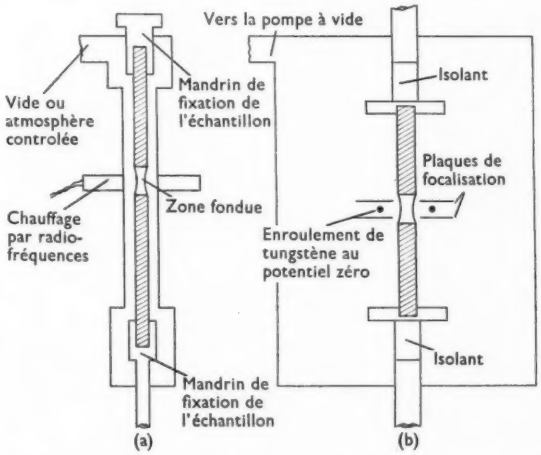

FIGURE 9 – (a) *Affinage par zone fondue flottante utilisant un chauffage par radio-fréquences.* (b) *Affinage par zone fondue flottante utilisant un chauffage par bombardement électronique.*

à haut point de fusion, tels que les silicones. La figure 9 en montre deux applications, étudiées pour éviter la contamination de l'échantillon par l'enceinte. La barre de matériau est fixée aux deux extrémités. La zone est maintenue par tension superficielle et quelquefois par des forces additionnelles, par exemple électromagnétiques. La mise en œuvre du chauffage par induction est indiquée figure 9*a*; dans la figure 9*b*, un dispositif à bombardement électronique amène la zone au point de fusion [8]. La purification est souvent accompagnée d'une évaporation préférentielle des impuretés dans un appareil tel que celui représenté figure 9*b*. Lorsqu'il n'y a pas de risque de contamination de l'échantillon par l'enceinte, la purification des matériaux de tension superficielle élevée est effectuée dans des nacelles horizontales, longues et étroites, chauffées par rayonnement ou au gaz.

APPLICATIONS

La technique de purification par le procédé de la zone fondue est précieuse pour la préparation des cristaux uniques. La mise en évidence du fait qu'un grand nombre de propriétés des matériaux — en particulier certaines propriétés électriques — peuvent être modifiées de façon importante par de faibles quantités d'impuretés, a conduit à l'étude de la zone fondue pour un grand nombre d'éléments. Il arrive qu'une impureté présente un coefficient de fractionnement trop voisin de l'unité pour que la méthode puisse être applicable: il est possible, alors, d'effectuer la purification à partir d'un composé de l'élément. Par exemple, on a montré [9, 10], que le trichlorure de gallium et le triiodure d'indium peuvent être utilisés dans la purification du gallium et de l'indium.

Les résultats de cette technique sont suivis au moyen d'indicateurs radioactifs: on a montré, grâce aux isotopes ^{22}Na, ^{90}Sr, ^{35}S, ^{32}P, que les ions Na^+, Sr^{2+}, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} peuvent être extraits du nitrate de potassium. Si le point de fusion d'un sel est trop élevé ou s'il y a décomposition avant fusion, il est quelquefois avantageux de travailler sur un eutectique, tel que l'eutectique glace-sel [11].

La purification de l'eau a été effectuée par le procédé de la zone fondue [12]: plus de 99,9% du chlorure de sodium peuvent être extraits, par un seul passage, d'une solution dont la teneur initiale est 20 g/litre. Des colloïdes ont même été séparés de leur solution; par exemple, on a observé que l'or colloïdal tendait à se rassembler dans la dernière partie solidifiée [11]. Des essais ont été faits pour séparer les composants isotopiques d'un mélange. Dans de tels systèmes, les valeurs de k sont proches de l'unité (1,001); cependant à partir d'une eau contenant 1,96% de deutérium, une concentration de 2,07% était obtenue en tête d'une barre de glace après 40 passages [11].

Un grand nombre de composés organiques ont été traités; par exemple un acide benzoïque à haute teneur, purifié par 8 passages, est présenté actuellement comme étalon volumétrique. Le dioxane a été purifié en vue d'utilisations spectroscopiques; l'anthracène, le stilbène, le terphényle ont été traités en vue de la préparation de cristaux utilisés dans les compteurs à scintillations. La possibilité de travailler avec des échantillons de petites dimensions a facilité la purification des substances biologiques, par exemple, la séparation d'une cire provenant de chenilles a été réalisée [7].

RÉFÉRENCES

[1] PFANN, W. G. *Trans. Amer. Inst. mech. Engrs*, **194**, 747, 861, 1952.

[2] *Idem.* «Zone Melting». John Wiley & Sons Inc., New-York. 1958.

[3] HERINGTON, E. F. G., HANDLEY, R. et COOK, A. J. *Chem. & Ind.*, 292, 1956.

[4] *Mfg. Chem.*, 470, 1954.

[5] RÖCK, H. *Naturwissenschaften*, **43**, 81, 1956.

[6] HANDLEY, R. et HERINGTON, E. F. G. *Chem. & Ind.*, 304, 1956; *Ibid.*, 1184, 1957.

[7] HESSE, G. et SCHILDKNECHT, H. *Angew. Chem.*, **68**, 641, 1956.

[8] CALVERLEY, A., DAVIS, M. et LEVER, R. F. *J. sci. Inst.*, **34**, 142, 1957. Demande de brevet britannique No. 36417/55, BIRBECK, F. F. et CALVERLEY, A. *J. sci. Inst.*, **36**, 460, 1959.

[9] RICHARDS, J. L. *Nature, Lond.*, **177**, 182, 1956.

[10] «Report of the National Chemical Laboratory, 1958». p. 19. Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1959.

[11] SÜE, P., PAULY, J. et NOUAILLE, A. *Bull. Soc. chim. Fr.*, 593, 1958.

[12] HIMES, R. C., MILLER, S. E. et GOERING, H. L. 133e Réunion de l'American Chemical Society, 1958. Compte-rendu No. 14, Sect. 5S.

Indicateurs radio-actifs dans l'atmosphère

par N. G. STEWART

Si les conséquences éventuelles de la libération de sous-produits d'explosions thermonucléaires dans l'atmosphère ont suscité nombre de débats, ces mêmes produits ont au moins fourni aux météorologues une méthode toute nouvelle pour étudier les courants atmosphériques. Bien qu'elle n'en soit encore qu'à ses débuts elle a déjà permis d'obtenir des renseignements précieux. Le présent article passe en revue les résultats obtenus dans le cadre des théories courantes relatives à la circulation d'air.

Par convention l'atmosphère est subdivisée en deux régions principales, l'atmosphère inférieure ou troposphère et la stratosphère. Ces régions sont séparées par une délimitation dénommée tropopause, définie par l'endroit où le gradient de température en fonction de l'altitude passe de la valeur négative à la valeur zéro ou positive, de la

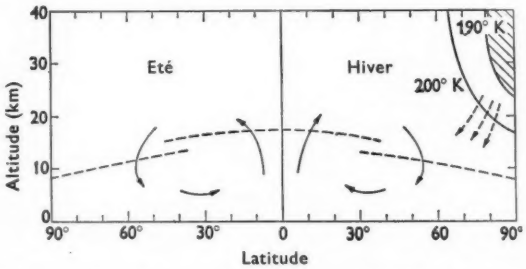

FIGURE 1 – *Schéma de la circulation atmosphérique (selon Dobson et Brewer), indiquant la nappe d'air froid au-dessus du pôle en hiver. Les lignes brisées représentent la tropopause et les flèches montrent le sens du courant moyen d'air.*

troposphère à la stratosphère. La tropopause n'est pas continue. A l'équateur elle se situe à une altitude moyenne de 17 000 mètres, mais à 30° de latitude N ou S on observe un changement brusque aux environs de 12 000 mètres (figure 1). La discontinuité de la tropopause s'accompagne souvent d'un courant dirigé, un fort courant d'air ouest-est. La stratosphère ne contient pratiquement pas de nuages, elle est calme et toute matière gazeuse ou fine poussière étrangère s'y répand lentement; dans la troposphère, au contraire, la dispersion s'effectue relativement vite.

Il y a une cinquantaine d'années on avait déjà procédé à des mesures de la radio-activité de l'atmosphère, et de 1903 à 1908 divers mémoires avaient fait état de la teneur en radon de l'air. La question en resta là jusqu'en 1951 où, grâce aux essais d'armes nucléaires, on put entrevoir l'utilisation de nuages radio-actifs pour la recherche météorologique à l'échelle du globe. Au début on utilisa les nuages pour confirmer les méthodes conventionnelles pour détecter et prédire les mouvements de masses d'air de l'atmosphère inférieure; mais avec l'arrivée des explosions thermonucléaires, qui projettent des nuages très haut dans la stratosphère, surgit la possibilité intéressante d'étudier l'ensemble des mouvements de l'atmosphère. On s'est servi également d'autres éléments radio-actifs, notamment des isotopes radio-actifs naturels créés dans l'atmosphère par les rayons cosmiques, et des sous-produits à vie plus longue du radon.

DÉBRIS D'EXPLOSIONS NUCLÉAIRES

Dans tout type d'explosion nucléaire une partie considérable de la radio-activité produite est renfermée dans de fines particules de poussière dont la chute libre est faible et qui, par conséquent, peuvent rester suspendues dans l'air très longtemps. Ces particules se composent essentiellement de silice, de chaux ou d'oxydes métalliques selon les conditions de l'essai; mais dans tous les cas elles contiennent de petites quantités de quelque 70 produits de fission créés lors de l'explosion. Les demi-vies des produits individuels de la fission varient d'une fraction de seconde à plusieurs années, de telle sorte que la radio-activité d'un échantillon se dégrade de façon complexe dans le temps (t) approximativement en fonction de $t^{-1,2}$.

De simples déterminations de la radio-activité de la troposphère effectuées de 1951 à 1954, après des essais d'explosions nucléaires révélèrent des différences notables entre le comportement des nuages provenant des petites armes «conventionnelles» et celui des nuages des engins thermonucléaires [1]. On a remarqué que les poussières provenant d'essais de bombes conventionnelles restent dans les régions inférieures de l'atmosphère et qu'en deux ou trois mois elles en sont

éliminées par la pluie. Mais la poussière résultant d'un essai thermonucléaire pénètre dans la stratosphère et n'en revient que très lentement; de sorte que la contamination de la troposphère peut se maintenir pendant des années. La haute teneur en produits de fission constatée dans la stratosphère environ six mois après les essais thermonucléaires de 1954 est mise en évidence dans la figure 2 qui est un exemple typique d'une série obtenue par échantillonnage de l'air au-dessus du territoire des Etats-Unis au moyen de filtres accrochés à des avions: au-dessus de 12 000 m, qui est la hauteur moyenne de la tropopause dans cette région, la courbe de concentration se redresse brusquement.

Après 1954 les essais d'envergure se multiplièrent. La stratosphère emmagasina des produits fossiles provenant de diverses sources, et dès lors il fut impossible d'interpréter des mesures pures et simples de l'activité totale. Le choix s'est alors porté sur deux isotopes ayant une demi-vie d'environ 30 ans, le strontium-90 et le césium-137, indicateurs idéaux pour suivre les déplacements lents de l'atmosphère. De par le monde, surtout en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, on installa des pluviomètres destinés à étudier le mécanisme du retour, à partir de la stratosphère, des poussières fines radio-actives [2]. A chaque station du réseau britannique la pluie récoltée trimestriellement est envoyée à Harwell et analysée par radiochimie pour sa teneur en isotopes de Sr^{89}, Sr^{90} et Cs^{137}. La station de Milford Haven, dans le Pembrokeshire, recueille des échantillons mensuels. Les résultats principaux portent sur l'analyse du Sr^{90} à demi-vie de 28 ans et de l'isotope Sr^{89} à demi-vie plus courte de 50 jours. Le rapport du Sr^{89} au Sr^{90} d'un échantillon permet de déterminer l'âge effectif des produits de la fission, ainsi il s'élève à 180 : 1 environ immédiatement après l'explosion, 50 jours plus tard il est tombé à 90 : 1, et ainsi de suite. On utilise fréquemment le rapport pour distinguer les proportions relatives de produits de fission nouveaux et anciens dans un échantillon mixte.

La teneur spécifique en Sr^{90} et le rapport Sr^{89} : Sr^{90} d'eau de pluie de Milford Haven sont indiquées sur la figure 3 [3]. Le graphique révèle une variation saisonnière marquée de l'activité spécifique de l'eau de pluie, avec des pointes à la fin du printemps et des creux à la fin de l'automne chaque année. Le rapport Sr^{89} : Sr^{90} est plutôt bas aux environs des pointes du Sr^{90}, ce qui indique que la masse du Sr^{90} est assez ancienne et provient certainement de la stratosphère. Les pics de 1955 et 1956 sont particulièrement intéressants; en effet, l'examen du rapport prouve qu'ils dérivent tous deux surtout des explosions du Pacifique au printemps 1954. Ces résultats donnent à penser que la poussière emprisonnée dans la stratosphère retourne à la terre, non à un taux uniforme, mais de façon périodique. En moyenne, la teneur spécifique en Sr^{90} de l'eau de pluie des six stations britanniques est restée inchangée en dépit d'une différence de 8 à 1 dans le taux annuel de pluie recueillie; l'activité de la pluie serait donc proportionnelle à celle de l'air et pourrait servir de mesure. Cette conclusion est étayée par l'observation qu'en 1955 et 1956 la teneur en Cs^{137} de l'air troposphérique au-dessus de l'Angleterre avait subi le même cycle que le Sr^{90} dans la pluie [5].

En ce qui concerne le réseau mondial, la teneur en Sr^{90} de l'eau de pluie basée sur la moyenne des prises effectuées à chaque station a été portée en ordonnée dans la figure 4 en fonction de la latitude. Comme on peut tracer une courbe

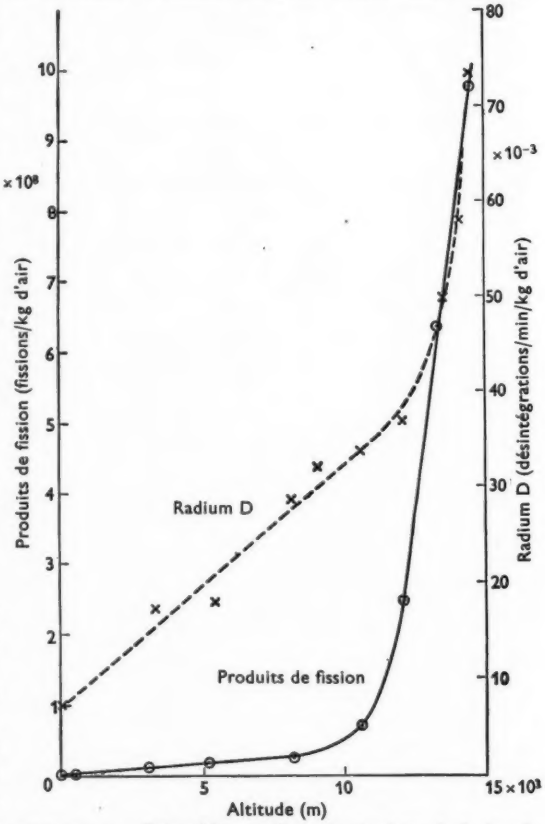

FIGURE 2 – *Répartition verticale des produits de fission du radium D dans l'atmosphère.*

lisse entre les points, malgré les grandes différences de longitude entre les stations, il est raisonnable de supposer qu'en général la teneur en Sr^{90} de l'eau de pluie est uniquement fonction de la latitude. Le chiffre élevé à 70° latitude N enregistré à une station en Norvège septentrionale a peut-être été influencé par sa proximité des bases d'essais russes. La courbe est particulièrement remarquable en ce que peu de Sr^{90} stratosphérique se dépose aux latitudes équatoriales alors que c'est à 11° latitude N que s'effectuent la plupart des essais. L. B. Lockhart a remarqué une répartition géographique analogue pour la concentration brute de la radio-activité de l'air au ras du sol le long du 80e méridien ouest en mai et août 1959; l'explosion atomique la plus récente remontait au mois d'octobre 1958 [6]. L. Machta a versé au dossier une dernière preuve convaincante du manque d'uniformité des retombées stratosphériques [7]. Les explosions des essais américains du Pacifique, en été 1958, ont produit, en effet, une quantité facilement décelable de tungstène-185, un traceur absolument nouveau et sans équivoque. La courbe de répartition de cet isotope dans l'eau de pluie ressemble fort à celle de la figure 4.

En résumé on peut en déduire que le Sr^{90} repasse de la stratosphère à la troposphère d'une façon périodique et que le gros de la matière retombe aux latitudes moyennes et supérieures. Ces faits découlent sans aucun doute de la façon dont l'air est échangé entre les deux régions de l'atmosphère, et il est intéressant de noter qu'ils sont conformes au schéma avancé par G. M. B. Dobson et A. W. Brewer [9] pour la circulation générale de l'atmosphère. Ce schéma est basé sur des mesures d'ozone et de vapeur d'eau. La teneur en vapeur d'eau de la stratosphère est minime, ce qui signifie que l'air s'élevant de la troposphère a dû perdre son eau en route. Brewer estime que ce transfert vers le haut ne peut s'effectuer qu'au voisinage de l'équateur comme l'indiquent les flèches dirigées vers le haut de la figure 1, et que cette humidité se condense et s'élimine tandis qu'elle traverse la zone d'air intensément froid qui, comme on le sait, se situe dans l'équateur de la tropopause. Dobson a étudié le gradient de la vapeur d'eau dans l'atmosphère dont la forme ne pourrait s'expliquer sans peine si l'on ne postulait pas que l'air sec de la stratosphère s'enfonce lentement aux latitudes moyennes (figure 1). La répartition du Sr^{90} dans l'eau de pluie selon la latitude semble confirmer ces déductions. La faible teneur en

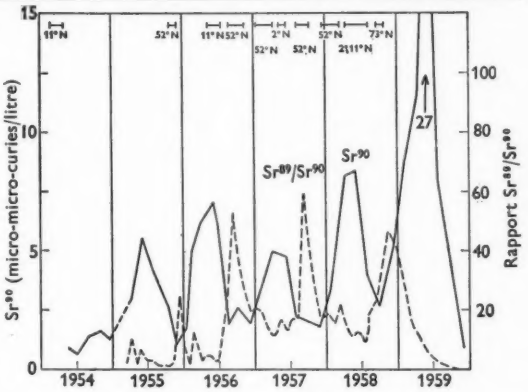

FIGURE 3 – *Concentrations de Sr^{90} et Sr^{89} dans l'eau de pluie à Milford Haven,* 1954–59. *Les symboles du haut indiquent les dates et les positions des essais thermonucléaires principaux.*

Sr^{90} de l'eau de pluie équatoriale prouve qu'il ne retombe certainement pas près de l'équateur, tandis que les valeurs élevées aux latitudes moyennes appuie la théorie de Dobson, puisque c'est là qu'il situe la retombée principale.

La teneur en Sr^{90} subit une variation saisonnière; plusieurs chercheurs ont décrit un cycle remarquablement identique pour l'ozone total. L'ozone a une histoire complexe dans l'atmosphère. Il est à peu près certain qu'il est créé de façon photochimique dans l'atmosphère supérieure; la production maximum s'effectue aux environs de 30 km. A cette altitude l'ozone est plutôt instable en présence de la lumière solaire; sa vie moyenne est courte et il existe donc un état d'équilibre photochimique. L'ozone des couches inférieures de la stratosphère est à l'abri de la lumière grâce à l'ozone de la couche suivante au-dessus et il est donc beaucoup plus stable. Ainsi, quand une masse d'air riche en ozone située à l'altitude de 25 km descend à la stratosphère inférieure, elle pénètre dans une région où sa durée moyenne est plus longue. Le déficit résultant à la couche supérieure est rapidement comblé par la création d'ozone nouveau, de sorte que l'atmosphère renfermera de plus en plus d'ozone.

Pour Dobson l'augmentation saisonnière de l'ozone atmosphérique total proviendrait de la descente de la nappe d'air qui s'est refroidie pendant les nuits de l'hiver polaire (figure 1). Cet affaissement au début du printemps entraîne dans la stratosphère inférieure de l'air riche en ozone. Il est logique de postuler que cet air y amène également de l'air riche en Sr^{90} puisqu'on a déjà trouvé qu'il existe dans la stratosphère une forte

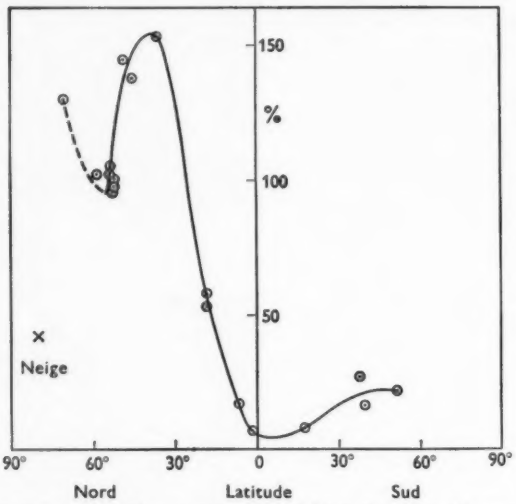

FIGURE 4 – *Teneur moyenne en Sr^{90} de l'eau de pluie sous diverses latitudes*, 1956–59.

concentration de produits de fission au-delà de 14 km (figure 2). Le Sr^{90} nouveau fourni à la stratosphère inférieure serait progressivement transféré à la troposphère, ce qui ajouterait un facteur saisonnier à la concentration du Sr^{90} contenu dans l'air troposphérique et dans la pluie. Pour assurer la continuité, l'affaissement de la nappe d'air froid devrait amorcer un courant méridional stratosphérique favorisant dans la stratosphère un courant vers le pôle de produits de fission provenant des latitudes inférieures. Ce courant tendrait à confiner les produits de fission d'une explosion d'essai à l'hémisphère où elle a lieu et, puisque les explosions thermonucléaires se sont toutes effectuées dans l'hémisphère nord jusqu'à présent, cela expliquerait qualitativement le fait qu'il se dépose plus de Sr^{90} dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud (figure 4).

E. A. Martell a fourni des indications qui montrent que les nuages stratosphériques des essais russes effectués aux latitudes septentrionales se déposent plus rapidement que ceux des essais du Pacifique [4]. Ceci justifierait le grand pic de Sr^{90} de 1959 à la suite des explosions en Russie en automne 1958, encore que J. Ambrosen ait montré que presque la moitié de ce pic doit être imputé à des débris plus anciens [10]. La conclusion de Martell n'infirme pas le schéma Dobson-Brewer, car les nuages des explosions septentrionales entrent dans la stratosphère plus près de l'endroit où l'air stratosphérique s'affaisse et entre dans la troposphère. Ce résultat serait d'autant plus prévisible si une portion importante de la poussière libérée par les explosions russes ne s'élevait pas au-delà des couches inférieures de la stratosphère. Mais Martell attribue une bonne partie des pics saisonniers observés plutôt à des essais russes qui les précèdent immédiatement qu'à des causes météorologiques. Cette opinion ne peut logiquement expliquer les pics de 1955 et 1956 car on ne peut les associer aux explosions de 1954. Puisqu'il n'y a plus eu d'essai important depuis 1958, l'interprétation de Martell ne peut plus s'appliquer à tout pic qui pourrait surgir en 1960, ou dans les années à venir, si la suspension des essais continue.

ISOTOPES PRODUITS PAR LES RAYONS COSMIQUES

Les rayons cosmiques à haute énergie produisent divers isotopes radio-actifs par rupture de noyaux d'azote, d'oxygène ou d'argon, et B. Peters a suggéré de les adjoindre aux produits de fission pour étudier la circulation de l'air [11]. Deux isotopes ayant une demi-vie appropriée, le Be^7 avec 53 jours, et le P^{32} avec 14 jours, sont créés essentiellement mais pas exclusivement dans les couches supérieures de l'atmosphère. Le taux de leur production est pratiquement constant, et ces isotopes sont finalement éliminés de l'atmosphère par désintégration radio-active ou par précipitation.

Peters montre que le Be^7 se dépose presque aussi rapidement aux régions tropicales qu'à Chicago. Ce dépôt ne se présente donc pas sous la forme caractéristique qu'affecte une poussière provenant essentiellement de la stratosphère (figure 4). Il en conclut que la majeure partie du Be^7 créé dans la stratosphère se dégrade avant qu'il ait pu passer à l'atmosphère inférieure et que le Be^7 déposé par la pluie provient surtout de la troposphère. Ceci est conforme au fait que le flux des rayons cosmiques, créant le Be^7 (et le P^{32}) dans la troposphère varie peu avec la latitude.

Vu leur long séjour moyen dans la troposphère les isotopes formés dans la stratosphère édifieront un état d'équilibre radio-actif dont le rapport calculé $Be^7 : P^{32}$ est 400. La période de séjour moyen dans la troposphère, calculée sur des données de produits de fission est de 30 jours environ et dans cet intervalle le rapport peut à peine atteindre la valeur de 140. L'on peut ainsi déceler dans la troposphère la présence d'air venant de la stratosphère. Cela suggère également qu'on pourrait utiliser la radio-activité des rayons cosmiques dans l'étude globale de la circulation de l'air. Par exemple, on a mesuré le rapport dans

des pluies tropicales dans l'Inde [12]: la moyenne de 21 échantillons a donné un rapport de 150, avec une valeur extrême de 290. Ce rapport $Be^7 : P^{32}$ eût été beaucoup plus élevé si ces échantillons avaient été contaminés par une quantité appréciable d'air stratosphérique. Cette conclusion confirme la faible teneur en Sr^{90} trouvée pour la pluie équatoriale et appuie en quelque sorte le schéma de Dobson et Brewer.

D'autres isotopes radio-actifs importants créés par les rayons cosmiques sont le C^{14} et le tritium, qui sont également produits et libérés dans la stratosphère lors de l'essai de grandes bombes nucléaires. Au moyen de ballons-sonde s'élevant jusqu'à 30 000 mètres, on a procédé à la mesure [13] de l'excès de C^{14} et de tritium sur le niveau de ces isotopes à l'état naturel. Ces mesures ont révélé un courant vers le pôle du C^{14} injecté dans la stratosphère environ 15 mois auparavant à 11° latitude N. Un courant de ce genre découle du schéma Dobson-Brewer de la circulation et du manque d'uniformité du dépôt de Sr^{90}.

PRODUITS DE DÉSINTÉGRATION DU RADON

Un trait commun à tous les indicateurs décrits jusqu'ici est que leur source effective réside dans la stratosphère. On peut donc les employer directement pour suivre le mouvement de l'air de la stratosphère à la troposphère, mais non pour le trajet inverse. W. M. Burton et N. G. Stewart ont récemment suggéré que des sous-produits radio-actifs à longue vie du radon naturel pourraient convenir à cet usage [14]. Comme le radon est un gaz, il peut s'échapper de la croûte terrestre dans l'atmosphère et s'y désintégrer en donnant une chaîne de successeurs solides. Le radium D (demi-vie de 19,4 années) et le radium F (demi-vie de 138,4 jours) sont propres à l'étude de la circulation de l'air. La répartition du radium D au-dessus de l'Angleterre déterminée par filtration et analyse radiochimique du produit est représentée avec celle du produit de fission dans la figure 2, où chaque point indique la moyenne d'une série d'échantillons. La teneur en radium D par unité de masse d'air augmente lentement avec l'altitude dans la troposphère, mais le gradient s'élève soudainement dans la stratosphère et est tout aussi raide que celui des produits de fission qui retombent. Ce résultat plutôt surprenant indique qu'une partie du RaD retombe de la stratosphère aux latitudes moyennes pour compléter les plus grandes concentrations formées directement dans la troposphère. La source de ce RaD descendant doit être du radon et ses produits de désintégration entraînés par l'air troposphérique qui s'élève en quelque autre lieu de la stratosphère. La déduction logique est de dire que ce transfert se fait autour de l'équateur.

Le rapport de l'activité du radium F à celle du radium D, qui est zéro lorsque le radium D vient de se former et qui atteint l'unité en 500 jours environ, peut servir à mesurer le temps que les atomes indicateurs passent dans l'atmosphère. Au niveau du sol et dans l'eau de pluie la valeur moyenne est de 0,10, ce qui veut dire que la vie moyenne d'un atome dans la troposphère est de 29 jours avant qu'il soit déposé par la pluie. Dans la stratosphère inférieure au-dessus de la Grande-Bretagne le rapport est de 0,65, ce qui correspond à un séjour de 212 jours. La différence entre les deux périodes de séjour, 183 jours, peut être considérée comme étant le temps que l'air tropical ascendant passe dans la stratosphère avant de regagner la troposphère aux latitudes moyennes.

CONCLUSIONS

Les résultats des expériences décrites ont été interprétés dans le cadre du schéma Dobson-Brewer de la circulation de l'air et y correspondent convenablement. Ce schéma n'est pas accepté par tous les météorologues; il suscite des objections en raison de certaines difficultés dynamiques et il est possible que les données pourraient s'intégrer mieux dans une théorie nouvelle à l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

[1] STEWART, N. G., CROOKS, R. N. et FISHER, E. M. R. Atomic Energy Research Establishment *Publ.* MP/R/2017, 1957.

[2] STEWART, N. G., OSMOND, R. G. D., CROOKS, R.N. et FISHER, E.M.R. *Ibid.*, HP/R/2354, 1957.

[3] CROOKS, R. N., OSMOND, R. G. D., OWENS, M. J. et FISHER, E. M. R. *Ibid.*, HP/R/3094.

[4] MARTELL, E. A. *Science*, **129**, 1197, 1959.

[5] STEWART, N. G. *Smokeless Air*, **28**, 285, 1958.

[6] LOCKHART, L. B. HASL-69, United States Atomic Energy Commission, New-York. Octobre 1959.

[7] MACHTA, L. Témoignage au Comité joint sur l'énergie atomique, Washington. Mai 1959.

[8] DOBSON, G. M. B. *Proc. roy. Soc. Lond., A.*, **236**, 187, 1956.

[9] BREWER, A. W. *Quart. J. R. met. Soc., Lond.*, **75**, 351, 1949.

[10] AMBROSEN, J. *Nature, Lond.*, **185**, 301, 1960.

[11] PETERS, B. *J. atmos. terr. Phys.*, **13**, 351, 1959.

[12] GOEL, P. S., NARASAPPAYA, N., PRABHAKARA, C., RAMA, T. et ZUTSHI, P. K. *Tellus*, **11**, 91, 1958.

[13] HAGEMANN, F., GRAY, J., MACHTA, L. et TURKEVICH, A. *Science*, **130**, 542, 1959.

[14] BURTON, W. M. et STEWART, N. G. *Nature, Lond.*, **186**, 584, 1960.

Les oiseaux à berceau

par A. J. MARSHALL

Les oiseaux à berceau ont développé à l'extrême la tendance avienne assez commune de construire des arènes et d'évoluer devant elles. Leur étude n'est pas aisée et ce n'est qu'assez récemment qu'on a cherché à expliquer leur comportement étrange. L'auteur réfute l'opinion courante selon laquelle ces ébats seraient, soit aveugles, soit destinés à satisfaire une esthétique consciente. Pour lui, la construction de berceaux représente une déformation de l'instinct de nidification. Les photographies sont l'œuvre de M. Norman Chaffer.

Un jour de la fin du siècle dernier, dans la brousse de l'Australie occidentale près de la rivière Ord, un certain Edward Delaney perdit ses lunettes, perte qui resta célèbre, car lesdites lunettes avaient été dérobées dans sa véranda par un grand oiseau à berceau *Chlamydera nuchalis*, de l'espèce grise, pour en orner sa charmille. Sur les arènes de la même espèce, on a trouvé des spécimens d'or brillant encastré dans du quartz et parfois des fragments d'opale précieux.

A. H. Chisholm fait un compte rendu de l'oiseau à berceau tacheté *C. maculata* que l'on aurait peine à croire s'il n'existait pas tant de preuves de l'instinct prédateur de ce petit passereau à huppe violacée. Un œil de verre que son propriétaire avait l'habitude de garder la nuit à son chevet dans une tasse d'eau disparut et fut retrouvé parmi l'amas d'objets entassés dans un berceau voisin.

Dans certaines régions de la campagne australienne, les indigènes fouillent les berceaux de l'espèce tachetée après chaque réunion hippique dans l'espoir de récupérer la monnaie perdue par l'assistance; quand les souverains d'or étaient encore en circulation, la fouille était souvent très profitable. L'oiseau à berceau tacheté pénètre, paraît-il, par les fenêtres ouvertes pour s'emparer de bijoux laissés sur les coiffeuses. L'ornithologue A. J. North rapporte que ciseaux, couteaux, cuillers, fourchettes et pièces de monnaie disparaissaient.

Plus le berceau est proche des habitations, plus les décorations en sont surprenantes. Ainsi, sur les arènes de l'oiseau-satin près de Sydney, on a trouvé des fleurs cultivées bleues — pétunia, jacinthe, cinéraire, pied d'alouette et jacaranda, un morceau de roulette de piano bleue, un gobelet d'enfant de cette couleur, un mouchoir à bordure bleue et des billets d'autobus. Ce butin est parfois mélangé à des plumes bleues de perroquet en mue, des fleurs jaune citron de billardière grimpante, des fragments gris de peaux de serpent et des coquilles marron d'escargots indigènes.

Les oiseaux à berceau font partie intégrante du folklore australien. Mais, bien que la plupart des anecdotes à leur sujet soient vraies, leur interprétation est souvent inexacte. Le naturaliste John Gould nomma l'espèce au temps de la Reine Victoria et imagina avec perspicacité que les berceaux ou «cours» devaient servir surtout aux ébats amoureux. Par la suite, lorsqu'on comprit mieux ces ébats compliqués, une école de naturalistes du pays fut d'avis que le motif sexuel était secondaire, sinon absent, et que ces oiseaux étaient doués d'une intelligence supérieure, construisant des berceaux et s'ébattant devant eux dans une sorte de sentiment esthétique conscient. Ceci est pure fantaisie. Il a fallu vingt ans environ pour passer d'une connaissance folklorique à une explication quasi-scientifique [1], et même à l'heure actuelle, on ne sait encore presque rien de certains membres australiens de la famille et de la totalité de ceux de Nouvelle-Guinée.

Les oiseaux à berceau sont des passereaux (percheurs) apparentés aux oiseaux de paradis et aux corbeaux. On les trouve uniquement en Australie et en Nouvelle-Guinée, mais ils sont très disséminés dans ces pays et habitent la forêt vierge, la savane, la prairie et le demi-désert. Certains sont extrêmement beaux, les mâles en particulier étant ornés de huppes érectiles et sur le corps d'un plumage à reflets d'une beauté saisissante. Dans une espèce seulement — celle du Jardinier brun de Nouvelle-Guinée — les deux sexes sont ternes tous les deux. Ce dernier, à propos, construit une hutte circulaire et étanche d'épiphytes et plante tout autour un jardin de mousse sur lequel il dépose des fleurs brillantes et des monceaux de fruits et de champignons fraîchement cueillis. Dans une forêt vierge très dense, Beccari le naturaliste italien du XIXe siècle découvrit avec stupéfaction une «hutte ou berceau conique près d'un petit pré (artificiel) émaillé de fleurs». On dirait presque que le Jardinier brun essaie de compenser son

FIGURE 1 – *Berceau en mât du Jardinier du Queensland. Ces édifices atteignent parfois 2,7 m de haut.*

manque de belles plumes par une accumulation presque inégalée d'ornements en vue des ébats. Mais ce point de vue adopté parfois ne tient pas compte du fait que l'oiseau-satin mâle, dont le plumage, l'œil et le bec sont d'une scintillante beauté, fait un étalage tout aussi brillant et coloré sur le sol de la forêt vierge australienne.

Nous avons divisé les oiseaux à berceau en trois groupes, sans inclure les oiseaux-chats qui forment un groupe séparé très voisin. Ceux du premier groupe construisent des berceaux «en tonnelle» (figures 4–8, 12 et 13) et appartiennent aux genres *Ptilonorhynchus*, *Chlamydera* et *Sericulus*. Ceux du second groupe font des berceaux «en mât» (figure 1) et appartiennent aux genres *Prionodura* et *Ambylornis*. Le troisième groupe comprend l'unique genre provenant de Nouvelle-Guinée: *Archboldia*, qui bâtit un simple berceau «en plateforme». Des trois espèces d'oiseaux-chats (genres *Ailurœdus* et *Scenopœtes*), une seule fait un étalage d'objets. Ce «bâtisseur de scène» ou oiseau-chat à bec dentelé se trouve uniquement dans un ou deux coins de jungle du Queensland septentrional. Les deux autres membres du groupe (*Ailurœdus*) sont verts et habitent la voûte feuillue. L'oiseau au bec dentelé est, toutefois, devenu brun et passe la plupart du temps dans l'ombre sur le sol ou à proximité. Il débarrasse une partie du sol en sciant laborieusement des pétioles de feuilles à l'aide du bec «à dents» dont il est pourvu, puis les emporte vers son arène où il les place de façon à montrer l'envers pâle pour que les objets ressortent mieux sur la terre brune. Si on retourne celles-ci, il s'empresse de les remettre comme elles étaient. Perché sur une branche favorite au-dessus de cet étalage, il remplit la pénombre de son chant mélodieux, proclamant ainsi sa présence et ses prérogatives à toute compagne et à tout rival possibles sur des centaines de mètres à la ronde.

Les oiseaux à berceau sont arrivés indépendamment à un complexe de comportement essentiellement le même, mais avec des variations nombreuses (et parfois grotesques). L'oiseau-satin (figures 4–8) est le mieux connu de tous. Il pullule en bordure des forêts vierges qui longent la côte orientale de l'Australie (figure 2). Vers la fin de l'hiver, tous les mâles revêtus d'un plumage bleu-noir éblouissant reviennent dans leur territoire propre et y construisent un berceau à murs doubles en minces rameaux, orienté nord–sud à quelques degrés près.

FIGURE 2 – *L'oiseau-satin pullule en bordure de la forêt.*

FIGURE 3 – *Quelques objets ramassés par l'oiseau-satin.*

FIGURE 4 – *Le mâle apporte une feuille à son berceau en tonnelle.* (*Cette figure et les suivantes de 5 à 8 montrent l'oiseau-satin.*)

FIGURE 5 – *Les mâles adultes enduisent leurs berceaux d'un mélange de salive et de charbon de bois.*

FIGURE 6 – *La femelle passe de plus en plus de temps à attendre dans le berceau ou à côté et à regarder les ébats du mâle.*

FIGURE 7 – *Les ébats du mâle deviennent plus violents et il tourne bruyamment dans l'arène.*

FIGURE 8 – *La femelle adopte enfin une posture accroupie spéciale qui détourne l'attention physique du mâle des objets colorés.*

FIGURE 9 – *Le Jardinier du Queensland apporte des lichens et des orchidées à son berceau (voir aussi la figure 1).*

FIGURE 10 – *Comme celui des autres oiseaux à berceau, le plumage du Jardinier du Queensland mâle chatoie par effet d'interférences.*

FIGURE 11 – *Baies cueillies par le Jardinier du Queensland vert pour orner son berceau.*

FIGURE 12 – *Oiseau à berceau tacheté. Il ramasse surtout des os, mais peut s'emparer de tout objet brillant.*

FIGURE 13 (*en haut*) – *Le Grand Oiseau à berceau gris est proche parent de l'espèce tachetée. Lui aussi est moucheté et de coloris terne.*

FIGURE 14 (*à droite*) – *Si le berceau du Grand Oiseau à berceau gris se trouve près d'habitations humaines on peut trouver les objets les plus bizarres sur son arène. Il n'hésite pas à pénétrer dans tentes et maisons pour s'emparer d'un objet convoité.*

A la même période, les organes sexuels ont commencé à s'accroître et à produire l'hormone sexuelle. Le mâle apporte des objets de cinq couleurs différentes et les dispose sur le sol à l'entrée du berceau, formant ainsi une sorte de devanture. Les objets peuvent être aussi divers qu'une jacinthe des bois et une capsule de bouteille de bière. Il s'ébat alors bruyamment et énergiquement avec eux, ce qui attire bientôt une femelle dans l'arène. Lorsqu'elle a tendance à s'éloigner, le mâle la rappelle par un cri spécial. A mesure qu'avance la saison des amours, les deux oiseaux s'entendent mieux et la femelle passe de longs moments à attendre et à regarder en silence dans le berceau ou à côté. Non loin, d'autres couples sont occupés plus ou moins de la même façon et, si le mâle s'absente, un rival descend aussitôt et, se faufilant à travers la broussaille, se met immédiatement à saccager le berceau abandonné et saisit avant de repartir une pleine becquée des ornements laborieusement amassés par le propriétaire. S'il est surpris dans le berceau, l'intrus s'enfuit toujours poursuivi par les cris de l'oiseau courroucé.

Cependant, la plupart des adultes mâles commencent à recouvrir leurs berceaux d'un épais enduit noir fait d'un mélange de salive et de charbon de bois. Avec un rouleau d'écorce tenu au bout du bec, l'oiseau fait passer le mélange entre ses mâchoires jusqu'aux rameaux de la paroi interne du berceau (figure 5). Là, cela ressemble à de la peinture noire et se dessèche en une sorte de poudre qui disparaît à la longue ou est délavée par la pluie. Le plâtrage est répété plusieurs fois. Certains oiseaux-satin emploient pour cette opération des fruits écrasés, tout comme les sericules (*Sericulus chrysocephalus*). Certains chlamydères revêtent leurs berceaux d'un mélange de salive et d'herbe sèche pulvérisée.

Ce manège peut continuer quatre mois sans qu'aucun contact ne se produise entre mâle et femelle. Celle-ci reste en attente à quelque distance du berceau: ses gonades ne croissent que lentement. Le mâle s'ébat avec une énergie renouvelée en sa présence et produit bientôt des spermatozoïdes en grappes. Il continue, néanmoins à concentrer toute son attention, sauf lorsque la femelle a tendance à s'éloigner, sur l'apport de décorations nouvelles, sur les ébats et sur l'entretien continuel du berceau.

A mesure que la saison avance, ses mouvements deviennent plus violents et il tourne bruyamment sur lui-même dans l'arène, projetant les objets décoratifs dans toutes les directions (figure 7). Si on examine la couleur de ces objets, on se rend compte qu'elle correspond exactement à celle du corps de ses rivaux (figure 3). Le bleu représente les yeux et le plumage, le curieux vert-jaune, le bout du bec et le jaune, le gris et le brun, le plumage des mâles adolescents. Les ébats sexuels sont donc, eux aussi, une déformation de l'instinct d'agression. Il semble probable, également, que l'opération de plâtrage représente un déplacement vers le berceau, point focal de l'intérêt du mâle, de la nourriture qu'il apporterait normalement à sa compagne durant la pariade.

Quand la forêt pullule enfin d'insectes ailés dont elle nourrira ses petits, la femelle réagit positivement. Elle se tient maintenant accroupie près du berceau ou à l'intérieur dans une posture toute nouvelle, ce qui détourne l'attention du mâle vers elle (figure 8) [2, 3]. La copulation se produit, entraînant parfois la démolition partielle de l'édifice, car la violence qui a accompagné les ébats si longtemps est parfois si prolongée qu'immédiatement après satisfaction, on a vu et photographié le mâle attaquant férocement la femelle et la chassant du berceau [3].

Après fécondation, celle-ci pond de un à trois œufs dans un nid qui peut être bâti sur un arbre à plusieurs centaines de mètres du berceau. Le mâle continue à s'ébattre et semble ne participer ni à la construction du nid, ni à l'incubation, ni aux soins des petits. Il n'abandonne le berceau que lorsque ceux-ci ont quitté le nid. Plusieurs familles se groupent alors en bandes avides qui parcourent la forêt à la recherche de fruits sauvages, et même cultivés. Tout au long de la fin de l'automne et de l'hiver, le mâle revient cependant de temps en temps dans son territoire, y ramasse quelques décorations, reconstruit le berceau, s'ébat brièvement avant de rejoindre le troupeau.

Des constructeurs de berceaux «en tonnelle», les espèces grise et tachetée (figures 12, 13) sont les mieux connues. A en juger par leur plumage moucheté, elles habitent les portions les moins humides du continent. Dans chacune, une petite huppe érectile sur la nuque ravive la monotonie relative des plumes. La teinte fondamentale de celle-ci est orangée, mais la structure cellulaire remarquable des barbes distales la fait paraître rose violacée au soleil, où elle étincelle parfois comme de l'argent [1]. On ne s'étonne donc pas que ces deux espèces accumulent de préférence des objets brillants ou réfléchissants sur leurs arènes, bien qu'on y trouve aussi d'autres ornements (figure 14). Les ébats devant le berceau de l'espèce tachetée sont mieux connus que ceux de

l'espèce grise: ils ressemblent essentiellement à ceux de l'oiseau-satin. L'un des rares témoins du moment culminant décrit comment le mâle «attaque violemment les os et divers bâtons, ou, s'élançant en l'air, s'en prend à un tronc d'arbre» après la copulation [4].

On a peu de connaissances détaillées sur le second groupe d'oiseaux à berceau: les constructeurs de charmilles en mât. Toutes les espèces tissent d'abord un cône de matière fibreuse autour de la base d'un arbuste de la forêt vierge. Le seul représentant du groupe en Australie, le Jardinier doré du Queensland (*Prionodura newtoniana*), élève ce cône jusqu'à une hauteur considérable autour du tronc (figure 1); le travail des générations produit parfois des édifices de plus de 2,7 m de haut. Les mâles à plumage doré transforment ceux-ci en jardins suspendus à l'aide de lichens vert-gris, de fleurs blanc-crème (dont des orchidées épiphytiques vivantes dans certains cas) et des baies (figures 9–11). L'oiseau s'ébat sur un perchoir spécialement choisi pour ses chants au-dessous du jardin suspendu ou dans un arbre voisin.

Les raisons de notre ignorance sont simples: les constructeurs de berceaux en mât habitent tous, à l'exception d'un seul, les forêts vierges de la Nouvelle-Guinée où les oiseaux sont relativement communs, mais où les zoologistes ne le sont pas. On possède cependant quelques renseignements de valeur, quoique fragmentaires, sur les ébats de certains d'entre eux [5, 6]. Le seul représentant de l'espèce en Australie, le Jardinier du Queensland, se rencontre aussi dans des régions relativement éloignées de l'habitation humaine [7]. En outre, ce sont surtout les collectionneurs, et plus récemment, des photographes, qui ont visité ces forêts.

Tout remarquables qu'ils soient, les berceaux et étalages d'objets ne sont que le prolongement d'instincts existant chez des membres tout à fait ordinaires de la famille des oiseaux. Les démonstrations aviennes — visuelles et auditives — accompagnent en général les conflits et l'établissement de prérogatives sur le territoire, la formation du couple et le développement sexuel saisonnier; la synchronisation finale des processus sexuels chez le mâle et la femelle ne se produit que lorsque le milieu atteint un stade convenable à la reproduction. C'est le facteur qui influence finalement celle-ci. Toutes sortes d'oiseaux non apparentés — comme les échassiers, les tétras, les manakins et les ménures — préparent de simples terrains et paradent pendant leur période reproductive. Ces arènes sont des exemples d'évolution convergente.

Les oiseaux à berceau ont commencé par des ébats simples. On voit se dérouler l'ontogénie, si l'on peut dire, de l'oiseau-satin dans la complication croissante du rituel à mesure qu'il croît en maturité et en expérience. En parsemant quelques morceaux de verre bleu sous un figuier sauvage où pécoraient quelques jeunes, nous avons réussi à les faire descendre, s'emparer du verre et parader en l'absence de berceau. Par la suite, les jeunes mâles construisent une simple plateforme de rameaux et y évoluent avec quelques objets de couleur généralement volés ensuite par des adultes bleus du voisinage pour en orner leur berceau. A mesure que se développent les jeunes oiseaux verts, ils construisent des berceaux en tonnelle à murs bas, mais avant l'âge de cinq ou six ans, où ils deviennent d'un bleu-noir, ils sont capables de construire des berceaux aussi ouvragés que ceux de leurs aînés.

Le berceau nous semble résulter d'un déplacement de l'instinct de nidification. Le mâle, qui ne participe aucunement à la construction du nid, bâtit un édifice dans son arène. Les oiseaux à berceau ont porté cette tendance — montrée aussi par diverses autres espèces — à l'extrême et, comme nous l'avons vu, certains choisissent des objets de couleur à l'image de leurs rivaux et les maltraitent bruyamment pour attirer la femelle et écarter les intrus. Une concurrence ardente — presque féroce — entre espèces a influencé puissamment l'évolution des ébats. On a beaucoup spéculé sur l'intelligence possible de ces oiseaux, mais il n'y a aucune raison de supposer qu'elle dépasse celle des autres espèces très avancées de passereaux; on leur a attribué aussi une conscience artistique. Il est certain qu'ils doivent tirer une sorte de plaisir à amasser des objets hétéroclites et à s'en servir dans l'arène, mais ce choix est essentiellement fixe et mécanique. Une espèce utilisant le jaune verdâtre, par exemple, ne choisit jamais du vert. Aucune, dans la mesure de nos connaissances, ne varie jamais l'agencement des couleurs comme on le ferait pour composer un bouquet.

BIBLIOGRAPHIE

[1] MARSHALL, A. J. «Bower-birds. Their display and breeding cycles». Clarendon Press, Oxford. 1954.
[2] MACNAMARA, E. *Nature, Lond.*, **176**, 207, 1955.
[3] CHAFFER, N. *Aust. Zool.*, **12**, 295, 1959.
[4] RAMSAY, J. S. P. (Communication personnelle.)
[5] RIPLEY, S. D. «The trail of the money bird». Harper & Bros, New-York et Londres. 1942.
[6] GILLIARD, E. T. *Auk*, **73**, 450, 1956.
[7] CHISHOLM, A. H. et CHAFFER, N. *Emu*, **56**, 1, 1956.

Les débuts de l'anatomie comparée

par W. E. SWINTON

L'anatomie comparée est maintenant si fermement établie qu'il est facile d'oublier qu'elle a autrefois soulevé de violentes controverses et que ses principes de base ne furent établis que récemment. Cet article décrit les débuts de son histoire en s'attachant spécialement aux contributions de Lamarck et de Cuvier. Il établit une parenté intéressante entre l'anatomie comparée et la révolution industrielle, les grandes excavations entraînées par différents grands travaux ayant fourni beaucoup de matériel fossile essentiel.

Les débuts de l'anatomie comparée se présentent largement comme une étude de l'anatomie des animaux faite par comparaison avec celle de l'homme. Certains écrivains, comme Léonard de Vinci et Francis Bacon, recommandaient une comparaison sans préjugé; mais en fait on regardait l'homme comme un spécimen parfait, base de toute norme anatomique. John Hunter lui-même, que l'on regarde souvent comme le père de l'anatomie comparée moderne, déclarait en 1780 qu'en comparant l'être humain avec le quadrupède, il pensait à deux machines: l'une, œuvre d'un artiste; l'autre, une imitation, faite par un novice.

La raison de cette exagération est que les premières études d'anatomie firent partie de la médecine. Les premiers anatomistes humains avaient peu de matériel pour la dissection et les professeurs décrivaient les structures humaines à leurs étudiants, pendant que des prosecteurs leur montraient les structures de mammifères inférieurs, souvent sans rapport. L'apogée de l'anatomie comparée ainsi comprise est l'énorme collection faite par John Hunter dans la deuxième moitié du XVIIIe siècle, basée presque entièrement sur la pratique de la médecine et de la chirurgie. Les recherches de Hunter se sont étendues à plus de cinq cents espèces.

Néanmoins, dès le début du XIXe siècle, on avait posé les fondements de la paléontologie moderne et de l'anatomie comparée qu'il restait à construire au cours des cinquante années suivantes. Linné avait établi une base satisfaisante pour la nomenclature et la classification des animaux, et la grande extension des mines, carrières et travaux publics divers, provoquée par la révolution industrielle, avait mis à jour quantités de calcaires, de sables et d'autres roches fossilifères.

Il est difficile de désigner celui qui a le premier compris que chaque couche possède ses fossiles caractéristiques qui expliquent ceux de la suivante. En Angleterre, le premier fut le physicien J. Michell, bien connu comme inventeur de la balance de torsion. En 1760, il publia un article sur le déroulement et les phénomènes des tremblements de terre, dans lequel il définit clairement la nature des couches et déclare qu'il est impossible d'éclaircir les irrégularités géologiques de l'Angleterre et de la France, sans une connaissance générale des fossiles des roches. En France, Buffon a montré que les fossiles indiquent la succession des temps et, en 1780, l'abbé J. L. Giraud-Soulavie publiait le premier volume de son «Histoire Naturelle de la France méridionale», ses études des fossiles du calcaire l'ayant mis sur la voie des relations générales qui existent entre ceux-ci et les calcaires dans lesquels ils se trouvent. La première carte géologique de France fut publiée la même année, établie par J. E. Guettard et A. L. Lavoisier.

William Smith, ingénieur civil, inspecteur des mines, fut le premier à établir pleinement la relation entre les roches et leurs fossiles. Son travail le mit en présence de nombreuses excavations et son intérêt pour l'histoire naturelle le conduisit à en tirer le plus de renseignements géologiques possible. Il vit bientôt l'avantage d'être capable de reconnaître les limites des couches et, en 1799, il prépara ce qui fut probablement la première véritable carte géologique. Son travail le plus important est une carte géologique plus ambitieuse d'Angleterre et du Pays de Galles, sortie en 1815. Elle comportait vingt et une cartes de régions séparées dans lesquelles il donnait une corrélation détaillée entre les couches et les fossiles qu'elles contiennent. Ses cartes et collections ont survécu et sont conservées au *British Museum* (*Natural History*) à Londres.

Vers 1820, on atteint donc une vision claire de la succession des couches et de leurs fossiles. L'importance de ce fait dans le développement de la paléontologie et de l'anatomie comparée ne

saurait être surestimée. Les fossiles étaient naturellement connus depuis longtemps — Léonard de Vinci entre autres les collectionnait — mais leur vraie nature fut enfin comprise. Des auteurs précédents — dont Leibniz dans son *Protogæa* (1749) — les avaient reconnus comme étant des restes d'êtres vivants, mais beaucoup de personnes les avaient pris pour des «pierres façonnées». Les listes sans cesse accrues des fossiles découverts dans les carrières, les tranchées et les mines de la révolution industrielle furent comparées aux listes des plantes et des animaux vivants résultant des explorations de la même époque. Il apparut alors des contradictions considérables entre le tableau général des êtres vivants et celui des restes trouvés dans les roches. Certaines espèces vivantes n'avaient apparemment pas d'histoire dans les roches et inversement de nombreux fossiles n'avaient pas d'équivalent moderne. Il apparut des périodes dans l'histoire des créatures vivantes, certains fossiles d'une couche ne réapparaissant pas dans la couche suivante. Ceci posait un problème: ceux qui passaient d'une couche à l'autre étaient-ils les survivants de quelque catastrophe?

La croyance dans les catastrophes était à son apogée en France, où pourtant la paléontologie et la biologie étaient florissantes. Giraud-Soulavie examinait, comme on l'a déjà dit, les fossiles du calcaire; Buffon décrivait en détail les animaux vivants et Louis Daubenton complétait d'une manière valable le travail de Buffon. A chaque monographie de Buffon, Daubenton ajoute la description de la structure des os et la comparaison des structures des différents animaux avec celles de l'homme, et insiste sur la nécessité de ce type de comparaison. Buffon et Daubenton ont donc démontré, en fait, à la fois la complexité et l'uniformité de la morphologie zoologique. On étudiait aussi l'anatomie comparée en Angleterre, mais toujours principalement pour les besoins de la médecine.

On ne pouvait cependant faire la corrélation entre la géologie, les fossiles et l'anatomie comparée sans une certaine compréhension de l'échelle des temps. John Hutton d'Edimbourg dans sa *Theory of the Earth* (1785) établit que les forces naturelles produisant des changements géographiques visibles, peuvent, si on leur donne un temps suffisant, produire des modifications de la terre analogues à celles dont la géologie porte témoignage. Un article d'ENDEAVOUR [Vol. VI, 109, 1947] a déjà décrit cet exposé précoce de l'uniformité des causes, repris par John Playfair en 1802; mais cette théorie ne fut établie fermement qu'à la publication par Charles Lyell des *Principles of Geology* (1830–33), qui constituent le point de départ véritable de la géologie moderne. Ces travaux furent négligés en France et, à vrai dire, dans le reste de l'Europe, bien que le travail de Lyell se plaçât à l'échelle européenne. Le progrès vint du développement de la paléontologie et de l'anatomie comparée et les deux géants de cette période furent les biologistes français Lamarck et Cuvier.

Lamarck — Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, chevalier de Lamarck — naquit en 1744. Il abandonne sa charge dans l'armée à cause de sa mauvaise santé et se tourne vers l'étude de la botanique. Il y acquiert bientôt une réputation considérable. En 1793, la Convention Nationale le nomme, d'une manière un peu surprenante, Professeur de Zoologie au Jardin des Plantes. On remplit une autre chaire à Paris, en 1809, par la nomination de Geoffroy Saint-Hilaire, auparavant minéralogiste, qui avait accompagné Napoléon en Egypte pour récolter des fossiles.

Lamarck se mit sérieusement à la recherche zoologique et devint un auteur très prolifique sur ce nouveau sujet; il s'établit une réputation solide et méritée pour le côté purement systématique de son travail. Mais c'était aussi un penseur, qui émettait des théories sur la descendance des animaux, leurs variations, leurs adaptations et leur classification, théories qui lui ont donné, bien que passées inaperçues à l'époque, la réputation d'un précurseur de Darwin et d'un évolutionniste. Il s'aperçoit que l'homme a introduit beaucoup des ses propres interprétations dans les connaissances zoologiques et, bien qu'il reconnaisse que les animaux ont des caractères montrant ou suggérant certaines affinités, il considère que leur classification est totalement artificielle.

Il ne croit pas aux catastrophes successives et suggère que les animaux vivants sont les descendants de créatures qui ont vécu avant eux et non le résultat d'une nouvelle création. Il croit que beaucoup d'entre eux ont été modifiés, bien que certaines des raisons invoquées par lui pour ces modifications nous apparaissent actuellement ridicules. La théorie célèbre suivant laquelle l'allongement du cou de la girafe est destiné à lui permettre de se nourrir des feuilles des arbres et l'idée que le développement des cornes des ruminants mâles provient d'un afflux de sang, plus important durant la saison des amours, sont des absurdités que l'on relève souvent, en oubliant les suggestions

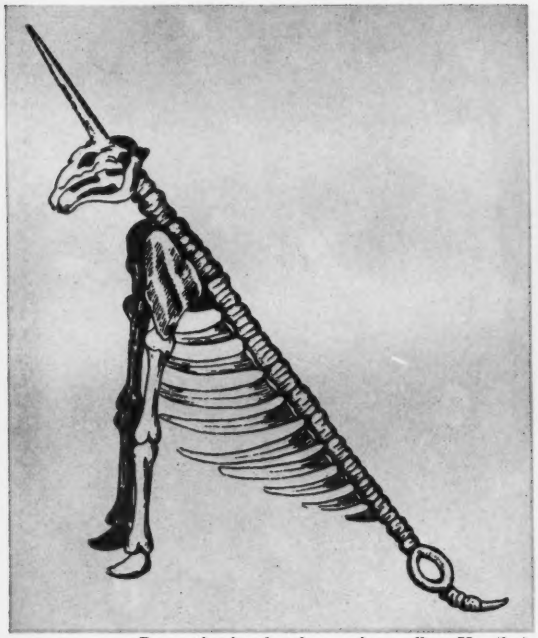

FIGURE 1 – *Reconstitution la plus ancienne d'un Vertébré: os d'un Mammouth disposés d'une manière non naturelle pour représenter une licorne. Composée par Otto von Guericke en* 1663, *admise et publiée par Leibniz en* 1749.

FIGURE 2 – *Première reconstitution à trois dimensions d'un fossile: modèle de dinosaurien, un iguanodon, fait par Gideon Mantell. Longueur environ* 9 *mètres.*

réellement prophétiques qu'il a faites sur les modifications au cours des générations successives. Malheureusement sa vie était pleine de difficultés, et il était souvent conduit à avancer des idées, parce qu'elles contredisaient celles de son rival, Cuvier, qui ne faisait rien pour remédier à une situation que nous regardons maintenant comme seulement regrettable. Aucun de ses partisans ne plaide en sa faveur, beaucoup d'entre eux lui ayant fait beaucoup de tort par l'extravagance de leurs schémas d'évolution.

Le moment était mûr pour une unification des connaissances biologiques. L'auteur en fut Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert, baron Cuvier. Né en 1769, Cuvier a fait ses études à Stuttgart et a consacré son temps à la zoologie; il est nommé Assistant du Professeur d'Anatomie Comparée au Muséum d'Histoire Naturelle en 1795. En 1802, il devient Professeur titulaire au Jardin des Plantes et donc le collègue de Lamarck et peu après de Geoffroy Saint-Hilaire.

Les prédécesseurs de Cuvier avaient reçu une formation médicale. On peut citer Petrus Camper qui a publié des monographies sur l'éléphant et le rhinocéros et J. F. Blumenbach qui a introduit l'étude de l'anatomie comparée en Allemagne. Cuvier lui-même, sans bases médicales, pouvait peut-être plus aisément aborder le sujet d'un point de vue purement scientifique.

Il s'intéresse à la morphologie des groupes qu'il étudie et écarte du sujet toute spéculation ou observation non confirmée. Ainsi quand, en 1811, il va à Harlem, il profite de l'occasion pour examiner le fameux fossile *Homo diluvii testis* (Homme témoin du Déluge) décrit et accepté généralement comme le squelette d'un enfant noyé par le Déluge (figure 6). L'identification avait été publiée en 1726 par Johannes Scheuchzer et avait causé une sensation considérable. Les méthodes d'examen positives de Cuvier aboutissent au résultat moins sensationnel, mais plus utile, que le squelette est celui d'une salamandre fossile.

La paléontologie, plus encore que la zoologie, avait à cette époque grand besoin d'un interprète. Les descriptions publiées des premiers grands squelettes et leur reconstitution avaient suscité des idées relevant plutôt de la mythologie que de la

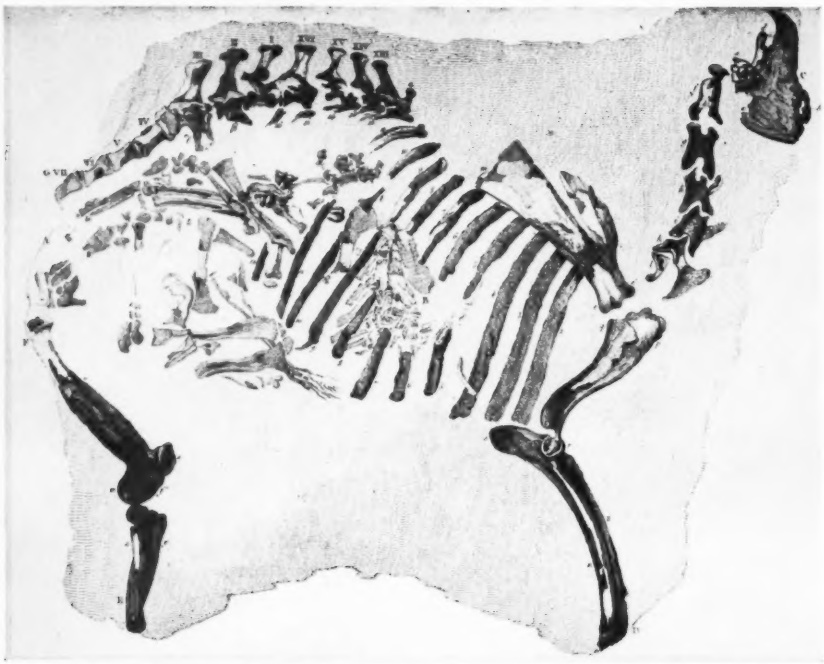

FIGURE 3 – *Squelette partiel de* Palaeotherium, *mammifère éocène de Pantin, près de Paris* («Ossemens fossiles» 2e *édition*, 1822). (*Voir aussi figure* 5).

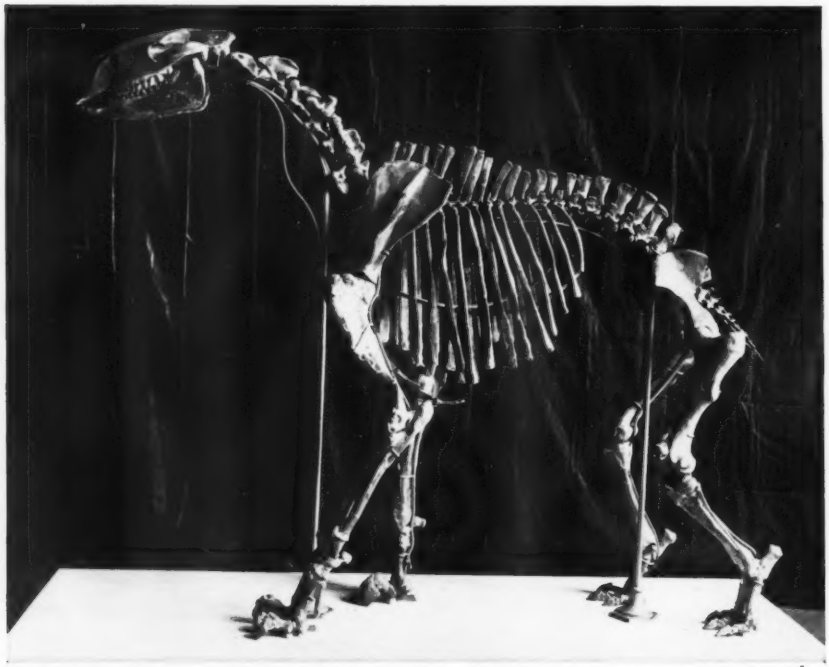

FIGURE 4 – Moropus, *herbivore miocène avec des dents broyeuses et des griffes. Taille d'un cheval.*

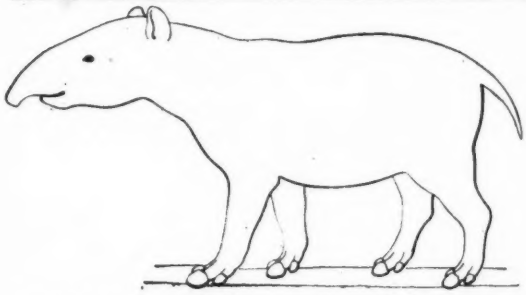

FIGURE 5 – *Reconstitution de Cuvier du* Palaeotherium, *basée sur ses études d'anatomie comparée. La taille est celle d'un petit rhinocéros.*

science (figure 1). Cuvier remédie bientôt à ceci. Les leçons de Giraud-Soulavie ne sont pas perdues pour lui et, avec le géologue Alexandre Brongniart comme assistant, il commence à faire des études sérieuses, avec de nouvelles méthodes, des fossiles que l'on trouvait si commodément dans le Bassin Parisien.

Ces fossiles avaient déjà été étudiés et pour Cuvier faisaient pleinement la preuve du catastrophisme auquel il croyait. Néanmoins, il les examine, squelette par squelette, pièce par pièce, note soigneusement leur position dans la roche, en même temps que les relations entre fossiles. C'est le début de la paléontologie. Cuvier trouve qu'en comparant ses fossiles avec les mammifères vivants il est capable de compléter les squelettes partiels sur des bases ostéologiques précises (figure 3). De plus, il invoque en temps voulu le témoignage des animaux fossiles, pour augmenter nos connaissances des vivants. Ainsi il fait dériver la paléontologie des Vertébrés partiellement de la zoologie des Vertébrés et, à l'inverse, apporte des éléments à la classification en appliquant la paléontologie à la zoologie.

Ses études ne se limitent pas aux os, et, malgré sa méthode essentiellement empirique, il fait un effort pour comprendre quelle sorte de tissus mous on peut s'attendre à voir associés avec les os (figure 5). Son intention finale était d'écrire un vaste traité d'anatomie comparée, mais il ne put jamais la mener à bonne fin, bien que son travail classique, «Recherches sur les Ossemens fossiles» soit un monument suffisant, pour faire de son auteur le fondateur de la paléontologie des Vertébrés. Comme zoologiste, il rend possible une compréhension plus profonde des animaux qu'il étudie et donne un développement très attendu aux études taxonomiques, quelque peu étroites, de Linné qui avait encore une immense autorité et dont les écrits étaient encore des manuels d'examen. Il montre que la série zoologique — si développée soit-elle, presque journellement, par des découvertes géographiques récentes — avait encore besoin de l'extension donnée par les fossiles. Quelle que soit la manière dont les fossiles ont pu être produits, il devenait clair qu'ils représentent des variations dans la continuité de

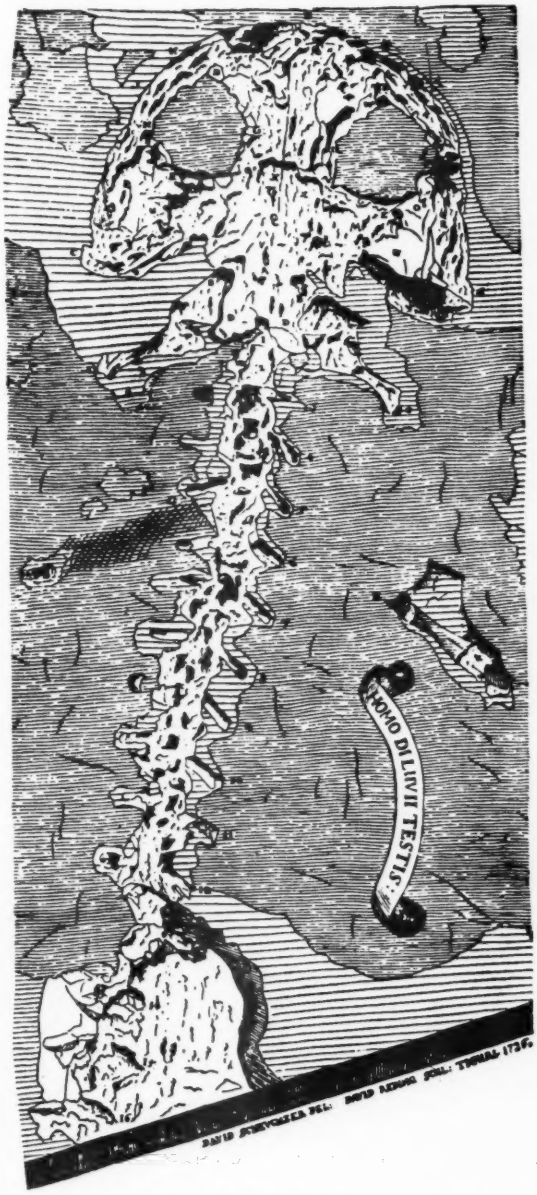

FIGURE 6 – *Placard de Scheuchzer racontant la découverte en* 1726 *de l'*Homo diluvii testis, *dont Cuvier a montré qu'il s'agit d'une salamandre fossile.*

la vie: des formes paraissent et disparaissent dans les archives des roches et peuvent avoir, ou non, des représentants dans le monde vivant. Ceci avait déjà été vu, mais on commençait seulement se rendre compte des conséquences biologiques de l'extinction. Un nouveau problème se posait alors: certaines formes se sont-elles transformées en d'autres? Lamarck voyait la vie comme une série continue et progressive, mais pour Cuvier, il y avait seulement succession d'espèces fixes, une sorte d'échelle zoologique. Ceci peut sembler une limitation du génie de Cuvier, mais c'est peut-être une circonstance heureuse qui l'a rendu capable de s'attacher méticuleusement aux détails et de fonder la paléontologie des Vertébrés.

Cuvier croyait que la conformité de toutes les parties d'un animal était nécessaire et que chaque partie se modifiait en accord avec les autres. C'est l'essentiel de la «Loi de Cuvier», longtemps sacro-sainte, mais que l'on sait maintenant erronée. Ainsi un animal carnivore doit avoir des griffes pour maintenir ses proies et des dents propres à déchirer la chair; il doit posséder un tube digestif adapté à une telle nourriture et ses membres doivent permettre une vitesse suffisante, pour poursuivre efficacement les proies. Ceci implique une musculature, ainsi que des ceintures scapulaire et pelvienne appropriées. Les organes visuels doivent être efficaces et le cerveau doit avoir un niveau suffisant de perception pour capturer les proies.

Cuvier et ses successeurs croyaient ainsi que l'on peut déduire la nature d'un animal de l'examen d'un de ses os. La pratique de l'anatomie comparée l'avait rendu capable de compléter les squelettes partiels de beaucoup de ses mammifères fossiles et d'en faire, pour la première fois, des reconstitutions logiques et précises.

Néanmoins, en agissant ainsi, Cuvier a fait plusieurs erreurs. Gideon Mantell, médecin du Sussex et paléontologiste, fut le pionnier de l'étude des Dinosauriens, après la découverte par son épouse des premières dents connues de ces animaux, en 1822. Il recherchait assidûment les os pouvant appartenir à l'animal dont c'étaient là les dents. Il trouva de nombreuses possibilités et envoya certaines pièces à Cuvier pour identification. Cuvier en attribua certaines à un hippopotame et les autres à un rhinocéros, alors qu'ils se révélèrent ultérieurement appartenir tous au même dinosaurien que les dents (figure 2). Bien que Cuvier les ait interprétés comme des os d'herbivores, on peut penser que son orientation vers des mammifères plutôt que vers des reptiles, provenait de ce qu'il ne se fiait pas aux renseignements géologiques de Mantell. Une autre fois, il identifie des os creux envoyés du Sussex, comme ceux d'un oiseau voisin du héron, qu'il nomme *Ardea;* on a montré depuis qu'il s'agissait de ptérodactyles. Pourtant, Cuvier eut aussi ses succès britanniques et lors de sa visite à Oxford, en 1818, il put certifier à Buckland l'origine mammifère de quelques mâchoires du Jurassique.

Le démenti final à la loi de Cuvier n'est venu qu'après sa mort. Qu'aurait-il pensé de l'Archéopteryx, oiseau à squelette presque reptilien et à os non pneumatiques? ou des Chalicothères du Miocène d'Asie, d'Amérique et d'Europe qui, comme le montre *Moropus* (figure 4) ont beaucoup de caractères de l'hippopotame, les proportions de certains chevaux et des griffes engainées? Il y a cependant une vérité générale dans sa loi, puisque quelques caractères phénotypiques montrent un haut degré d'association.

Les études de Cuvier dans le Bassin Parisien sont remarquables par leur méthode comme dans leur détail. La complexité et la diversité de ce qu'il a vu ne l'ont pas conduit à abandonner sa croyance en une série de catastrophes pour expliquer la distribution paléontologique et il n'a jamais cessé de croire en la fixité des espèces. Néanmoins, l'application de son anatomie comparée à la reconstitution des fossiles devait constituer un des fondements de la théorie de l'évolution.

BIBLIOGRAPHIE

COLE, F. J. «A History of Comparative Anatomy from Aristotle to the Eighteenth Century». Macmillan & Co., Londres. 1844.

CUVIER, G. «Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes». Paris. 1812.

Idem. «Le règne animal». 10 vols. Paris. 1817.

GIRAUD-SOULAVIE, J. L. «Histoire naturelle de la France méridionale». Vol. 1. Paris. 1790.

GILLESPIE, C. C., Dans «Forerunners of Darwin». (Glass *et al.*) Johns Hopkins, Baltimore. 1959.

HUNTER, J. «Essays and Observations on Natural History, etc. Posthumous papers on these subjects». 2 vols. Londres. 1861.

HUXLEY, Sir Julian. Dans «Function and Taxonomic Importance». Systematics Association, Londres. 1959.

MACGREGOR, M. *Endeavour*, **6**, 109, 1947.

MICHELL, J. *Phil. Trans. roy. Soc., Lond.*, **51**, 454, 1760.

PEYER, B. «Geschichte der Tierwelt». Zurich. 1950.

RAVEN, C. E. «Science and Religion». Cambridge University Press, Londres. 1953.

WIGHTMAN, W. P. D. «The Growth of Scientific Ideas». Oliver and Boyd, Edimbourg. 1950.

Quelques conséquences de la résonance neutronique

par J. E. LYNN

L'interprétation des spectres d'absorption en fonction des transitions quantifiées de l'atome d'un niveau énergétique à un autre est en général connue. Plus récente, et donc moins familière, est la découverte d'une interaction analogue entre le neutron se comportant comme une onde et le noyau atomique. Cet article envisage quelques-unes des conséquences théoriques et pratiques de la résonance entre un noyau et l'onde neutronique.

Les détails relatifs aux vitesses de réaction neutrons-noyaux sont importants en plusieurs domaines de la physique. Dans un système physique, trois facteurs régissent cette vitesse: la densité de noyaux dans le système, la densité neutronique et la section efficace pour la réaction envisagée. Cette dernière quantité est une mesure de la probabilité d'interaction d'un neutron et d'un noyau suivant un mode déterminé[1]. C'est une quantité telle que la vitesse de réaction serait celle de l'interaction d'un neutron avec un noyau supposé sphérique et de section égale à la section efficace. Il faut remarquer cependant que la section efficace de réaction varie en général avec la vitesse du neutron et qu'elle peut être très différente de la section géométrique généralement attribuée au noyau.

CARACTÈRES DES SECTIONS EFFICACES DES NEUTRONS

La dépendance étroite de la section efficace en fonction de l'énergie et la manière suivant laquelle fluctue la section efficace sont deux caractères importants et particuliers des réactions nucléaires aux énergies basses et moyennes. Un exemple est donné par la section efficace totale de l'uranium 238 (figure 1). Si les neutrons pouvaient être considérés comme des particules ponctuelles et les noyaux comme des sphères de rayon R dans lesquelles pénètrent les neutrons, ou diffusant ceux-ci, la section efficace totale serait indépendante de l'énergie et aurait pour valeur πR^2, c'est-à-dire 1 à 2×10^{-24} cm² pour un noyau moyen. Cette valeur est approchée dans le cas de neutrons très rapides dont les énergies sont de quelques dizaines de millions d'eV. Cependant, lorsque des neutrons de basse énergie bombardent l'uranium, pour la plupart des énergies neutroniques la section efficace est environ quatre fois supérieure à

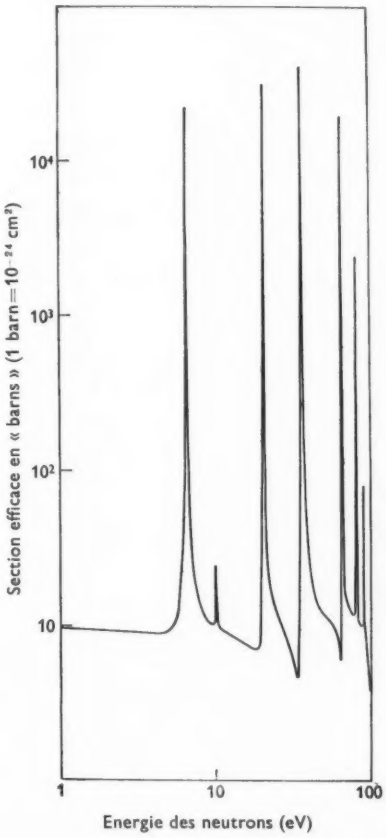

FIGURE 1 – *Section efficace totale de ^{238}U en fonction de l'énergie des neutrons entre 1 eV et 100 eV.*

[1] La définition précise de la section efficace d'une réaction est donnée par le rapport du nombre d'événements se produisant pour un noyau par unité de temps, par le nombre de neutrons traversant l'unité de surface par unité de temps.

cette valeur et la courbe indique de nombreux maximums, plusieurs fois supérieurs à ce que prévoit la théorie classique. Ce phénomène provient de la dualité onde-corpuscule qui caractérise la matière. Le système neutron-noyau est si petit qu'un neutron lent tombant sur un noyau doit être considéré comme une onde; la section efficace d'une onde tombant sur une petite sphère non résonante de rayon R est $4\pi R^2$. Sur la courbe de section efficace, les maximums étroits représentent la résonance de l'onde neutronique avec le noyau; la longueur d'onde dépend de la quantité de mouvement, donc de l'énergie; elle est déterminée par la relation bien connue de Broglie.

Cette résonance noyau-onde neutronique de longueur d'onde définie est tout à fait analogue aux raies des spectres d'absorption d'atomes soumis à un rayonnement électromagnétique, lumière visible ou rayons X. L'hypothèse fondamentale de la mécanique quantique est que l'énergie d'un atome est quantifiée en valeurs discrètes: une raie d'absorption est interprétée par la transition d'un atome du niveau énergétique fondamental à un niveau supérieur avec absorption d'un quantum de radiation égal à la différence énergétique entre les deux états. Dans le système neutron-noyau, il y a également transition vers un autre état énergétique lors de la résonance. L'importante différence est que le neutron a été absorbé, par conséquent le nouvel état énergétique est celui d'un noyau «composé» dont la masse a augmenté d'une unité environ mais dont la charge est restée inchangée.

DÉDUCTION DES PROPRIÉTÉS NUCLÉAIRES À PARTIR DES SECTIONS EFFICACES

En quoi consiste l'énergie d'excitation des états observés dans les réactions neutroniques? Ce n'est certainement pas l'énergie du neutron puisqu'elle correspond à la différence d'énergies entre le niveau fondamental de la cible et le niveau de résonance du noyau résultant. Il est souhaitable de comparer l'énergie du noyau excité dans son état final à celle de l'état fondamental du même noyau; pour ce faire, l'étude des masses nucléaires est nécessaire. Depuis longtemps on a montré que la masse d'un noyau n'est pas exactement la somme des masses de ses neutrons et protons. On explique la différence par l'équivalence masse-énergie. La séparation des nucléons (neutrons et protons) nécessite la mise en jeu d'une énergie qui s'oppose à celle des forces de liaison; cette énergie est équivalente au défaut de masse. Dans les systèmes atomiques et moléculaires, le défaut de masse correspondant est trop faible pour être observable; cependant, dans le noyau, il est suffisant pour permettre la détermination des énergies de liaison nucléaire à partir de la mesure des masses nucléaires.

On a trouvé qu'il fallait une énergie de plusieurs MeV pour faire sortir un neutron du noyau dans son état fondamental, la valeur effective étant essentiellement variable suivant la nature du noyau. Pour des noyaux non sujets à une désintégration radioactive, c'est-à-dire, parmi les noyaux légers, ceux dont les nombres de protons et de neutrons sont approximativement les mêmes, et, parmi les noyaux lourds, ceux possédant un grand nombre de neutrons excédentaires, les énergies moyennes de séparation des neutrons sont de 7 à 8 MeV; elles sont supérieures pour les éléments de la classification périodique situés au voisinage du fer, et plus faibles dans la région de l'uranium. Lorsqu'on passe de la région des noyaux stables vers la région des noyaux riches en neutrons, l'énergie de séparation décroît rapidement. Les noyaux riches en neutrons présentent généralement une activité β; ils se désintègrent par émission électronique et augmentent en même temps leur charge d'une unité. Une étude plus détaillée des masses nucléaires montre que parmi les noyaux stables, les valeurs des énergies de séparation présentent certaines discontinuités. Les noyaux possédant 8, 20, 28, 50, 82 et 126 neutrons correspondent à des énergies de séparation élevées: ces nombres ont été appelés «nombres magiques». Les noyaux possédant des nombres de neutrons suivant immédiatement les nombres magiques correspondent à des énergies faibles. Par exemple, ${}^{208}_{82}Pb^{126}$ et ${}^{209}_{82}Pb^{127}$ présentent des énergies de séparation respectivement égales à 7,37 et 3,86 MeV. La stabilité des noyaux à nombres magiques est comparable à la stabilité chimique des gaz nobles et leurs propriétés ont été expliquées par une théorie quantique semblable, basée sur un modèle de noyau constitué par des couches successives [10].

Il apparaît maintenant que le noyau composé possédant ce neutron supplémentaire diffère du noyau dans l'état fondamental par une quantité d'énergie égale à la somme de l'énergie cinétique du neutron et de l'énergie de séparation du noyau composé. Les relations énergétiques apparaissent dans la figure 2, montrant en outre la comparaison avec l'absorption atomique. L'un des premiers résultats obtenus à partir des mesures d'absorption neutronique est l'évaluation des écartements moyens entre les niveaux énergétiques des noyaux pour des énergies d'excitation de l'ordre de

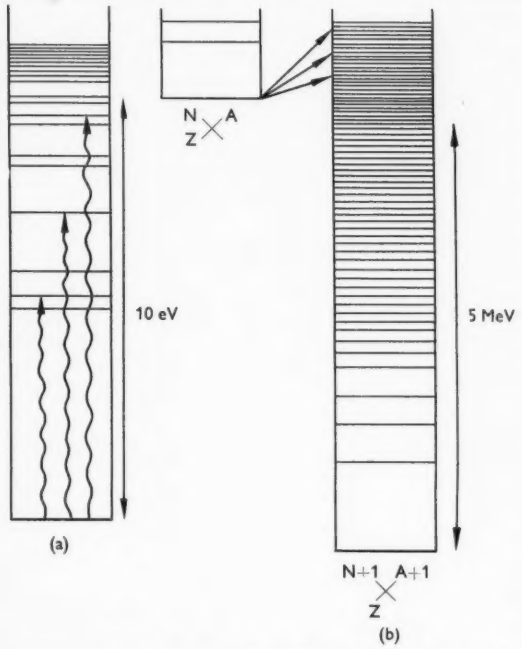

FIGURE 2 – *Diagrammes énergétiques montrant* (a) *l'absorption du rayonnement électromagnétique par un atome* (*lignes ondulées*), (b) *l'absorption d'un neutron par un noyau. Le niveau fondamental du noyau-cible* (*indiqué par* $^{A}_{Z}X$) *se trouve à un niveau énergétique correspondant à l'énergie du niveau fondamental plus celle d'un neutron libre au repos. Les flèches indiquent l'accroissement d'énergie dû à l'énergie cinétique du neutron.*

plusieurs MeV. Théoriquement, l'écartement à la résonance devrait décroître nettement lorsque l'énergie croît et le nombre de nucléons devrait dépendre de cette énergie. Les mesures de sections efficaces pour des neutrons de basse énergie concordent avec la théorie. Les intervalles de résonance sont importants (plusieurs centaines de keV) dans les sections efficaces des noyaux légers. Ils diminuent lorsque le nombre de masse augmente, jusque vers 10 eV lorsque les nombres de masse dépassent 100. Ensuite la décroissance de l'énergie de séparation des neutrons équilibre à peu près l'effet de l'accroissement des nucléons. De notables écarts à cette orientation d'ensemble ont été observés dans les régions des noyaux à nombres magiques, où les distances de résonance peuvent être plusieurs fois supérieures à la moyenne.

Les états d'excitation résultant de l'absorption neutronique dégénèrent ensuite. La désintégration s'effectue souvent par une suite d'émissions électromagnétiques (rayons γ), le système effectuant des sauts à travers une série d'états inférieurs, en émettant de l'énergie à chaque saut, jusqu'à ce qu'il atteigne l'état fondamental du noyau composé. La désintégration peut aussi se traduire par l'émission d'un neutron de même énergie que le neutron incident: c'est la diffusion élastique. Si l'énergie dans l'état excité est assez haute, la désintégration peut se traduire par l'émission d'un neutron d'énergie beaucoup plus faible. Le noyau-cible reste alors dans un état excité qui dégénère par émission γ: c'est une diffusion non élastique. La désintégration peut même correspondre à la perte d'un proton ou d'une autre particule chargée; le noyau résultant n'est alors ni la cible, ni le noyau composé (figure 3).

Dans la région d'une résonance, la correspondance section efficace-énergie peut généralement s'exprimer mathématiquement par la formule de dispersion bien connue de Breit-Wigner. Celle-ci détermine l'énergie de résonance et les quantités connues sous le nom de largeurs partielles: ces dernières sont inversement proportionnelles à la durée des différents processus de désintégration et

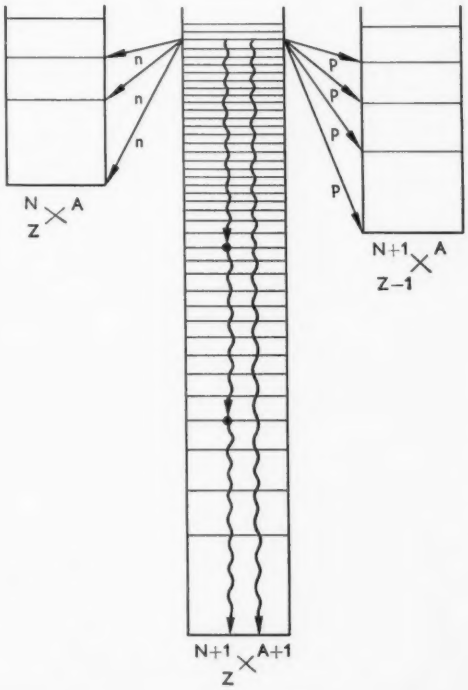

FIGURE 3 – *Diagrammes énergétiques montrant la désintégration d'un noyau complexe par émission neutronique et protonique, et rayonnement électromagnétique. Dans le dernier cas* (*à gauche*) *il s'agit d'une cascade typique et d'une transition directe du noyau complexe au niveau fondamental.*

représentent des caractéristiques importantes de l'état. La somme des largeurs partielles est égale à la largeur du maximum à la résonance, leurs rapports sont ceux des sections efficaces partielles dans les différents cas.

En physique nucléaire fondamentale, la plupart des études ont eu pour objet le processus de désintégration par diffusion élastique [1]. On doit conclure que vis-à-vis des neutrons, le noyau se comporte comme un milieu optique très réfringent, peu opaque, aux limites légèrement diffuses. Le libre parcours moyen des neutrons dans le milieu, 5×10^{-12} cm environ, détermine l'opacité, ce qui doit être mis en opposition avec le rayon nucléaire, celui-ci variant de 10^{-13} à 10^{-12} cm. L'opacité peut être plus faible pour les nombres magiques [3]. Il a même été possible de faire des déductions sur la forme du noyau. Pour des nombres de masse situés vers 140–200, on doit supposer que le noyau a la forme d'un ellipsoïde [2]; ce qui confirme de nombreuses preuves, provenant d'autres domaines de la physique nucléaire, à l'effet que beaucoup de noyaux ne sont pas sphériques.

RÔLE DES NEUTRONS DANS LA FORMATION DES ÉLÉMENTS

Des théories cosmologiques sont nécessaires, afin, notamment de donner une explication satisfaisante de l'abondance des éléments. La théorie la plus satisfaisante semble être que beaucoup d'éléments, sinon la plupart, se sont formés et se forment encore au sein des étoiles.

D'après cette idée [4], les éléments plus légers prennent généralement naissance dans les réactions entre particules chargées. La combinaison de particules de même charge nécessitant une énergie cinétique suffisante pour vaincre leur répulsion électrostatique, de telles réactions ne peuvent avoir lieu qu'à l'intérieur d'étoiles à haute température. Dans la première série de réactions il y a combustion de protons avec formation éventuelle d'hélium. A ce stade et à la fin des stades suivants où interviennent des éléments plus lourds, la répulsion électrostatique des noyaux produits est trop grande pour permettre des réactions ultérieures à la température de l'étoile. Cependant, une contraction gravitationnelle a lieu et l'énergie potentielle libérée est transformée en énergie cinétique pour les noyaux, la température de l'étoile augmente et la réaction suivante peut se produire. La combustion de l'hélium suit celle de l'hydrogène et donne naissance à des noyaux élémentaires du type particule α contenant un nombre pair de protons et de neutrons: carbone, oxygène et néon par exemple. La température de l'étoile est alors assez élevée pour que le rayonnement électromagnétique présent puisse induire des réactions (γ, α). Les particules α libérées conduisent à la formation d'éléments plus élevés du type particule α jusqu'à ^{40}Ca et même ^{48}Ti.

La formation de noyaux autres que ceux du type particule α implique l'hypothèse que le matériau brûlé est éjecté d'une étoile sous forme d'hydrogène dont la température devient suffisante pour qu'il y ait réaction. Ainsi des protons réagissant avec ^{12}C donneront ^{13}C et ^{14}N, et avec ^{20}Ne donneront ^{21}Na, puis ^{21}Ne après émission d'un positon. La réaction de particules α avec ^{13}C et ^{21}Ne libère des neutrons et un grand nombre de réactions

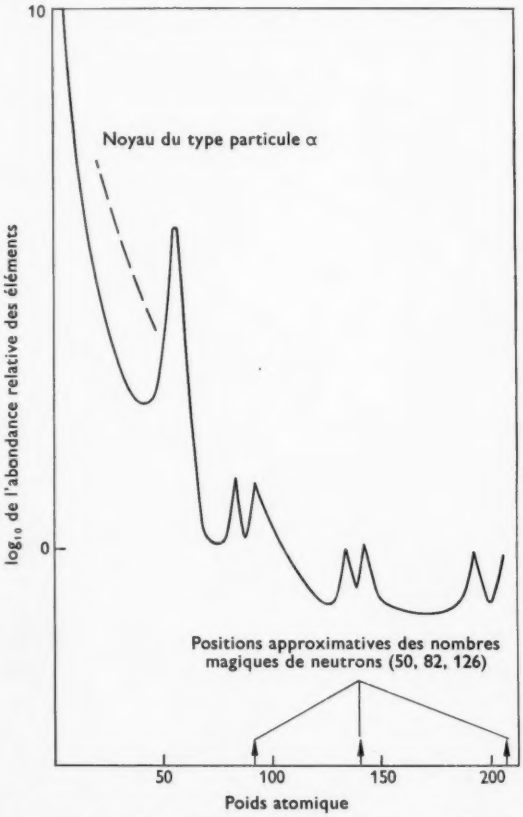

FIGURE 4 – *Représentation des abondances d'éléments d'après les valeurs de Suess et Urey* [5]. *Remarquer l'abondance importante des noyaux du type particule α, le maximum dans la région ^{56}Fe et les maximums doubles associés à chacun des nombres magiques de neutrons au-delà de ^{56}Fe. Les noyaux lourds riches en protons se trouvent beaucoup plus bas et ne sont pas représentés.*

nucléaires peuvent alors se produire, en particulier aux hautes températures stellaires. Une étoile dont la température resterait assez longtemps au voisinage de 3×10^9 °C se transformerait en ^{56}Fe, le plus stable de tous les noyaux et, par conséquent, le produit ultime d'une série quelconque de réactions nucléaires. Ce processus d'équilibre semble confirmé par les valeurs minutieusement calculées des abondances des éléments présentées par H. E. Suess et H. C. Urey [5]: la figure 4 indique l'abondance rapportée au nombre de masse.

La formation des éléments lourds est due principalement à la capture neutronique, les neutrons prenant naissance dans les réactions telles que ^{21}Ne (γ, n) ^{20}Ne et ^{25}Mg (γ, n) ^{24}Mg. On pense qu'interviennent deux mécanismes distincts de capture neutronique (processus *s* et *r*). Le processus *s*, ou lent (*slow*) a lieu à l'intérieur des étoiles géantes rouges, où la température est $10^{8°}$ environ. La capture neutronique est si lente que la formation d'un noyau radioactif β sera généralement suivie d'une désintégration avant intervention d'un autre neutron (figure 5). Les noyaux produits se situent au voisinage de la ligne de stabilité naturelle (définie, pour chaque nombre de masse, par le nuclide présentant l'énergie de liaison maximale par nucléon). Si l'équilibre est atteint parmi les éléments d'une chaîne de noyaux formés suivant le processus *s*, la vitesse de formation d'un noyau donné est égale à celle de transformation par addition ultérieure d'un neutron. Le produit du nombre de noyaux d'une espèce donnée par sa section efficace de capture est alors constant pour tous les éléments de la chaîne. Même si l'équilibre n'est pas atteint, ce produit sera une fonction régulièrement décroissante du nombre de masse.

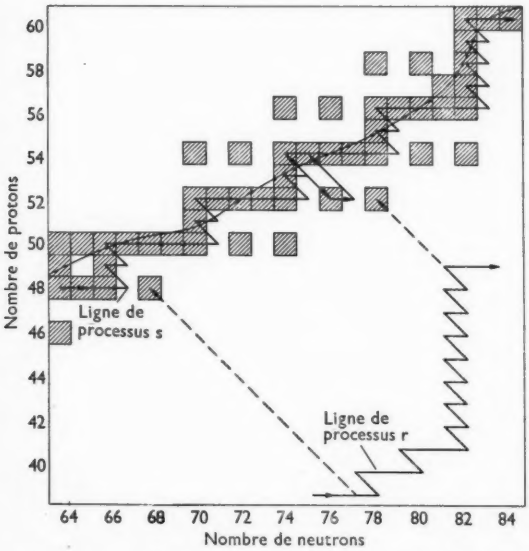

FIGURE 5 – *Comparaison des processus de capture lent et rapide des neutrons. Les noyaux stables sont représentés par des carrés hachurés. ↖ indique une désintégration β, ↘ l'émission d'un positon, → la capture d'un neutron. ↖ représente des exemples de désintégration β de noyaux constitués suivant le processus r, quittant finalement les noyaux stables riches en neutrons.*

Le processus *r*, ou rapide, doit avoir lieu dans les cataclysmes stellaires soudains et brefs qui donnent naissance aux supernovae. Il semble que dans les supernovae, les conditions de température très élevée et de flux neutronique énorme font que la capture du neutron est trop rapide pour qu'une désintégration β puisse se produire avant la capture suivante. L'accroissement des neutrons dans un noyau est cependant éventuellement arrêté par la diminution de l'énergie de séparation dans le neutron; ceci permet l'établissement de réactions photoneutroniques de directions opposées conduisant à un équilibre avec la capture neutronique en certains points de la chaîne. En ces points, le processus s'arrête jusqu'à la prochaine désintégration β. Le noyau résultant, de charge plus élevée et de nombre excédentaire de neutrons plus faible, capture alors de nouveaux neutrons (figure 5). Un effet particulier se produit pour les nombres magiques de neutrons: l'énergie de séparation des neutrons tombe brusquement, d'où l'effet «escalier en colimaçon» (figure 5), une capture de neutrons étant suivie par un temps d'arrêt pour une désintégration β. La durée de désintégration β augmente vers le haut de l'escalier et il y a remplissage des noyaux stables riches en neutrons et correspondant à peu près aux nombres magiques. Cet effet explique les maximums correspondant aux nombres de masse plus faibles associés à chacun des nombres magiques de la courbe d'abondance des éléments (figure 4). Ces maximums prouvent nettement le déroulement du processus *r*.

La connaissance des sections efficaces moyennes de capture pour une énergie équivalente à la température intérieure d'une étoile géante rouge (correspondant à une énergie neutronique de 10 à 20 keV) est nécessaire pour vérifier la théorie du processus *s*. De sérieuses tentatives ont été faites pour mesurer ces sections efficaces, mais les méthodes actuelles sont limitées. Cependant, la connaissance des propriétés des résonances neutroniques aux basses énergies peut être utilisée pour

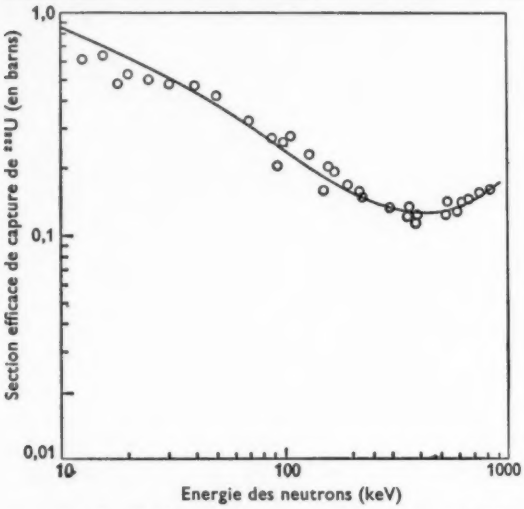

FIGURE 6 – *Section efficace moyenne de capture pour ^{238}U, de 10 keV à 1 MeV. La courbe en trait plein est calculée à partir des données déduites d'une étude des résonances à basse énergie dans la section efficace neutronique de ^{238}U.*

déduire théoriquement les sections efficaces moyennes de capture aux plus hautes énergies avec une bonne précision autant que ces valeurs puissent être vérifiées [6]. Par exemple, la figure 6 montre les résultats calculés et expérimentaux pour ^{238}U jusqu'à 700 keV. Pour les nombres magiques, la section efficace moyenne de capture semble particulièrement faible. La variation régulière du produit de la section efficace par l'abondance des noyaux dans le processus *s* implique un nombre magique de neutrons et une abondance de noyaux pour lesquels le rapport neutron-proton est normal: les maximums correspondant à ces noyaux sont effectivement observés sur la courbe d'abondance.

La dépendance du processus *r* de la section efficace n'est pas aussi étroite que pour le processus *s*. Il est nécessaire de connaître ultérieurement les sections efficaces de capture des neutrons et de fission, afin d'en déduire le mécanisme de formation des éléments très lourds (au-dessus de A de l'ordre de 209), pour lesquels le processus *s* ne peut exister à cause de la désintégration α. Il semble que le processus *s* s'arrête avec la formation des noyaux tels que ^{254}Cf, spontanément fissiles et à courte période. L'énergie libérée dans la fission est si grande (200 MeV environ) que l'on peut s'attendre à ce que le processus *r* fournisse une grande partie de l'énergie observée dans les supernovae. Cette théorie paraît confirmée par une observation importante: la vitesse de décroissance de la lumière provenant des supernovae correspond à la période de ^{254}Cf (55 jours). Remarquons cependant que l'on peut interpréter différemment la période des supernovae [7, 8].

QUELQUES ASPECTS DE LA THÉORIE DU RÉACTEUR NUCLÉAIRE

Le comportement des sections efficaces des neutrons à la résonance présente des conséquences importantes dans la physique des réacteurs, mais avant de discuter quelques-uns des effets intéressants, il sera utile de résumer les principes fondamentaux d'un réacteur à uranium naturel. Dans la fission induite d'un noyau lourd, une énergie énorme est libérée, associée à la dislocation du noyau en deux parties à peu près égales accompagnées de l'émission de quelques neutrons d'énergie moyenne 2 MeV environ. Ce point est crucial puisqu'il permet une fission induite ultérieure, et par conséquent, une réaction en chaîne. Une proportion importante de ^{238}U (représentant 99,3% de l'uranium naturel) est fissible par les neutrons rapides (d'énergie supérieure à 1 MeV environ), mais pour cette valeur d'énergie, la diffusion non élastique est importante. Par suite, la plupart des neutrons sont rapidement ralentis en dessous du seuil de fission de ^{238}U. La fission de ^{235}U est généralement négligeable du fait de sa très faible concentration (0,7%) dans l'élément naturel. Si les neutrons sont suffisamment ralentis — par exemple par collision avec des noyaux légers tels que le carbone et le deutérium — ils atteignent avec leurs voisins un équilibre thermique et leur énergie moyenne sera environ 0,025 eV à l'intérieur de la matière à la température ambiante. La vitesse de fission du noyau ^{235}U sera alors appréciable, puisque la section efficace de ^{235}U est grande aux faibles énergies neutroniques à cause des résonances fortes.

Les propriétés de résonance affectent également le ralentissement des neutrons à partir de la haute énergie qu'ils possèdent lors de leur création jusqu'aux énergies thermiques pour lesquelles ils peuvent induire une nouvelle fission. Lors du ralentissement quelques neutrons peuvent être capturés par les noyaux ^{238}U, faisant diminuer la vitesse de réaction en chaîne. La section efficace de capture de ^{238}U se trouvant à l'intérieur de bandes de résonance étroites, les neutrons sont ralentis par une série de trappes de résonance. Au cours du processus de ralentissement, le neutron perd en moyenne une fraction donnée de son énergie dans chaque collision, ce qui veut dire qu'un neutron doit entrer en collision un plus

grand nombre de fois pour rencontrer une bande de résonance de basses énergies de largeur donnée qu'une trappe de haute énergie. Les résonances à basses énergies correspondant en général à des sections efficaces de capture plus grandes, elles sont très importantes dans le processus de ralentissement. Néanmoins, les résonances correspondant à une énergie des neutrons supérieure à 1 keV ne sont pas non plus négligeables lors du ralentissement des neutrons par capture [9].

Pour réduire l'effet de cette capture neutronique, il est souhaitable de séparer autant que possible le modérateur du combustible: des barres de combustible imbriquées dans le modérateur réduisent les captures par résonance par effet d'écran comme l'indique la figure 7. La figure 7(*a*) montre une section efficace à la résonance caractéristique de capture; dans les figures 7(*b*), (*c*) et (*d*), on a représenté la transmission des neutrons à travers des épaisseurs de matériau de plus en plus grandes. On voit que les neutrons d'énergie correspondant à la résonance ne sont pas transmis au-delà d'une certaine épaisseur critique: en d'autres termes, le matériau de capture ne contribue pas à la capture des neutrons possédant l'énergie de résonance au-delà de cette épaisseur critique. La capture des neutrons intégrée sur le domaine de résonance est une fonction de l'épaisseur du matériau (figure 8): les écarts à la linéarité montrent pourquoi il est avantageux de concentrer le combustible dans un réacteur.

Dans la discussion relative à la section efficace des neutrons à la résonance considérée comme une fonction de l'énergie, nous avons jusqu'ici implicitement supposé que le noyau bombardé était au repos. Il n'y avait donc lieu de considérer que l'énergie et la vitesse du neutron. Il est évident qu'en pratique, les atomes eux-mêmes sont en agitation thermique: ainsi les neutrons d'énergie définie auront des vitesses différentes pour les différents noyaux d'un édifice atomique. Chaque noyau aura donc une section efficace différente pour des neutrons de même énergie, et celle-ci dépendra de l'énergie correspondant au mouvement relatif du noyau par rapport au neutron. La section effective réelle des noyaux de l'assemblage est obtenue en faisant la moyenne des sections efficaces pour l'ensemble de toutes les vitesses relatives possibles qui permet le mouvement d'agitation thermique. Au voisinage des bandes de résonance étroites des noyaux lourds, les sections efficaces effectives peuvent être très différentes des valeurs correspondant aux noyaux stationnaires: la figure 9 illustre un cas typique. L'élargissement supplémentaire de la bande de résonance est un élargissement Doppler qui est important pour la

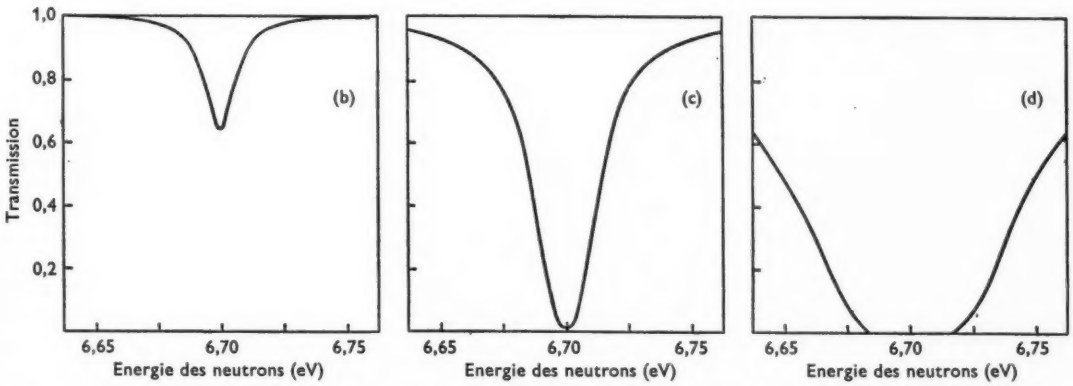

FIGURE 7 – *Section efficace dans le cas d'une résonance neutronique typique* (a) *et la transmission résultante d'un faisceau de neutrons à travers des lames d'épaisseurs croissantes en fonction de l'énergie;* (b) *correspond à une lame contenant* 2×10^{19} *noyaux par cm*^{2}*;* (c) 2×10^{20} *noyaux par cm*^{2}*, et* (d) 2×10^{21} *noyaux par cm*^{2}.

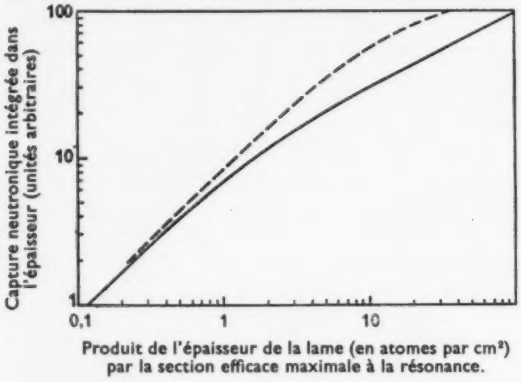

FIGURE 8 – *Capture neutronique intégrée pour un faisceau de neutrons traversant une lame lors de la résonance. La capture est représentée en fonction de l'épaisseur; le diagramme montre l'effet d'écran du matériau brut. La ligne continue correspond à un matériau pour lequel l'élargissement thermique de la section efficace est négligeable. La ligne en traits interrompus représente le cas typique où l'élargissement thermique est important; c'est le cas, par exemple, de la résonance* 6,7 *eV de* ^{238}U *à* 1500° *environ.*

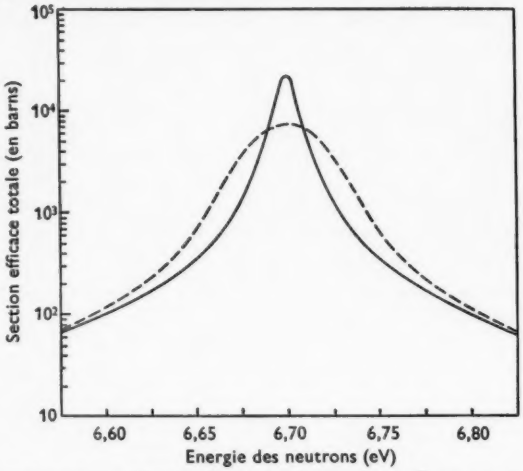

FIGURE 9 – *Comparaison de la section efficace à la résonance pour un noyau stationnaire (ligne continue) et de la section efficace réelle due à l'élargissement Doppler, dans un assemblage effectif de noyaux (courbe discontinue). Il s'agit de la résonance* 6,7 *eV de* ^{238}U, *l'uranium se trouvant à la température ordinaire.*

sécurité du réacteur. L'élargissement et l'abaissement du maximum dans une section efficace réelle augmente avec la température, et il en résulte une diminution de l'effet d'écran pour le neutron à l'intérieur de la masse fissible. Dans un réacteur à uranium naturel l'effet est le suivant: si la vitesse de réaction augmente, la température tendra à augmenter; lorsque la température augmente, l'effet d'écran diminue et il y a augmentation de la vitesse de capture des neutrons pendant le ralentissement, permettant à un nombre de neutrons plus faible d'atteindre les énergies thermiques et de poursuivre le processus de fission. Il en résulte un freinage à l'intérieur du réacteur.

Cette considération de l'effet de la température n'est plus valable pour les réacteurs à combustibles enrichis. Il faut reconnaître d'abord que non seulement la capture aura lieu dans le composant non fissile du combustible (^{238}U ou ^{232}Th) lors du ralentissement des neutrons, mais que la capture et la fission se produiront aux résonances de l'isotope fissile présent. Un cas simple extrême est celui d'un combustible hypothétique complètement fissile présentant des résonances uniformes de même largeur et pour lesquelles le rapport de la section efficace de capture à la section efficace de fission est le même. Lorsque la température augmente, l'effet d'écran diminue et la vitesse d'absorption de la région de résonance augmente. L'augmentation ou la diminution de la vitesse globale de réaction dépend du partage de l'absorption entre la fission (production des neutrons) et la capture (changement d'état des neutrons). Si la fission est prédominante dans la région de résonance, des neutrons s'ajoutent au système à une vitesse croissante et donnent au réacteur un coefficient de température positif, ce qui n'est pas souhaitable. Pour éviter ceci, il est nécessaire d'introduire un matériau non fissile, tel que ^{238}U, dont les résonances de capture sont étroites.

RÉFÉRENCES

[1] FESHBACH, H., PORTER, C. E. et WEISSKOPF, V. F. *Phys. Rev.*, **96**, 448, 1954.

[2] CHASE, D., WILETS, L. et EDMONDS, E. R. *Ibid.*, **110**, 1080, 1958.

[3] LANE, A. M., LYNN, J. E., MELKONIAN, E. et RAE, E. R. *Phys. Rev. Letters*, **2**, 424, 1959.

[4] BURBIDGE, E. M., BURBIDGE, G. R., FOWLER, W. A. et HOYLE, F. *Rev. mod. Phys.*, **29**, 547, 1957.

[5] SUESS, H. E. et UREY, H. C. *Ibid.*, **28**, 53, 1956.

[6] LANE, A. M. et LYNN, J. E. *Proc. phys. Soc. Lond.*, *A*, **70**, 557, 1957.

[7] GRYZINSKI, M. *Phys. Rev.*, **115**, 1087, 1959.

[8] CAMERON, A. G. W. *Canad. J. Phys.*, **37**, 322, 1959.

[9] MORTON, K. W. «Comptes rendus de la Deuxième Conférence de Genève sur l'Utilisation Pacifique de l'Energie Atomique», 1958.

[10] HAMILTON, J. *Endeavour*, **19**, 163, 1960.

L'aérobiologie extérieure

par P. H. GREGORY

L'aérobiologie — l'étude des micro-organismes de l'atmosphère — comporte deux grandes divisions. L'aérobiologie intra-murale s'intéresse surtout à l'hygiène de l'air et l'aérobiologie extra-murale, principalement à la pathologie végétale et aux allergies. Cet article est consacré au second des aspects sus-nommés. Il passe en revue les recherches récentes relatives aux spores, bactéries et pollens de l'air. Les techniques développées au cours de ces études pourraient être utilisées pour la détection des micro-organismes dans l'espace et dans les atmosphères des autres planètes.

Le malade atteint de la fièvre des foins ne sera pas surpris de ce que l'air extérieur contienne le pollen de nombreuses espèces de phanérogames. Mais l'air contient aussi beaucoup d'autres particules d'origine biologique, telles que les spores des cryptogrames et des champignons, les bactéries, les levures, et aussi les cystes des protozoaires, qui peuvent également être à l'origine d'allergies. Il existe dans tous les grands groupes taxonomiques du règne végétal des espèces qui possèdent des moyens d'introduire leurs spores dans les couches turbulentes de l'atmosphère [5]. D'autres organismes, cependant, sont adaptés à d'autres voies de dispersion telles que l'eau ou le transport par les animaux, et leurs spores parviennent rarement dans l'air.

L'étude systématique de la microbiologie de l'atmosphère a commencé il y a un siècle, dans l'espoir de découvrir la source des épidémies telles que le choléra ou la typhoïde. Il est cependant clair, maintenant, que l'air extérieur n'est pas une source sérieuse d'infection pour les humains et son intervention dans les maladies graves des hommes et des animaux a été écartée, bien que de récents travaux américains montrent que les agents de l'histoplasmose et d'autres mycoses de l'homme sont véhiculés par le vent. L'air extérieur transporte aussi du pollen, particulièrement nuisible à ceux qui souffrent de la fièvre des foins, ainsi que les spores infectieuses des parasites de nombreuses et importantes cultures, par exemple, les spores des rouilles et des charbons des céréales.

L'aérobiologie a effectivement débuté à l'Observatoire de Montsouris à Paris avec le travail du bactériologiste Pierre Miquel (1850–1922), qui élabora des techniques lui permettant d'analyser chaque jour, pendant le dernier quart du XIXe siècle, le contenu microbien de l'air extérieur. Mais la première tentative consciente en vue de développer l'aérobiologie comme une branche propre de la science est due à un pathologiste des végétaux, Roger Meier (1893–1938). Malheureusement, il disparut au cours d'un vol au-dessus du Pacifique, n'ayant pu publier que quelques articles préliminaires; ils ont cependant servi à attirer l'attention sur le sujet, aux Etats-Unis. Il faut aussi mentionner, dans l'historique de l'aérobiologie, la thèse de Stepanov, publiée en 1935 à Léningrad [8]. A partir des recherches basées sur les travaux de ces auteurs et d'autres encore, effectuées pendant trois générations, on peut, bien que nos renseignements soient encore restreints, décrire la circulation des spores végétales et d'autres microbes dans l'atmosphère, et estimer l'importance de ses incidences en médecine, en agriculture et dans les sciences biologiques.

LES TECHNIQUES DE L'AÉROBIOLOGIE

On a appris beaucoup de choses sur la flore microbienne de l'atmosphère (appelée ici «peuplement de l'air en spores» et comprenant le pollen des phanérogames) en examinant les dépôts sur les surfaces engluées, exposées au vent. Mais les résultats obtenus par cette méthode sont difficiles à interpréter quantitativement, du fait que les prises dépendent de facteurs soumis à de grandes variations. Pour avoir des renseignements quantitatifs sur la population de l'air il est nécessaire d'utiliser des appareils qui retiennent effectivement les spores contenues dans un volume d'air déterminé. Un tel appareil demande un dispositif permettant de faire passer un volume déterminé d'air à travers un filtre ou d'accélérer l'air de façon que les particules qu'il contient adhèrent à une surface gluante ou soient captées par un liquide.

L'aspiration à travers le milieu filtrant est rendue nécessaire par des dispositifs tels que le

filtre à aspiration de Pasteur ou les membranes filtrantes plus récentes. Une autre série de dispositifs fonctionne en forçant l'air à travers une étroite tuyère et en le dirigeant sur une surface gluante. L'analyseur d'air électrostatique de la *General Electric* est basé sur le principe de collection de la poussière élaboré par Oliver Lodge. Chacun de ces dispositifs a ses qualités et ses limites, mais peut donner des renseignements quantitatifs s'il est utilisé correctement. Le travail à l'extérieur ne réclame pas un degré élevé de précision à l'heure actuelle, vu que les résultats obtenus déjà montrent que la population de l'air varie beaucoup dans le temps et dans l'espace.

Les résultats des analyses effectuées par les diverses méthodes sont difficiles à comparer entre eux. Quelques appareils déposent les particules directement sur une lame porte-objet de microscope, où l'on peut compter et classer les spores et les grains de pollen. D'autres permettent la culture des bactéries, levures, mycéliums de champignons et mousses, et l'identification de la fraction cultivable de la population de l'air peut ainsi être mieux précisée. Ce gain de précision dans l'identification, par rapport aux méthodes visuelles, est cependant compensé par une perte d'information sur le nombre total des organismes, certains d'entre eux pouvant ne pas être viables. Certains chercheurs ont utilisé les deux méthodes simultanément.

LA POPULATION DE L'AIR AU NIVEAU DU SOL

Les spores de champignons et les bactéries prédominent quantitativement au niveau du sol. Quand une espèce abondante de phanérogame est en fleur, le pollen peut momentanément éclipser au point de vue masse les spores et bactéries, mais habituellement pas au point de vue nombre de particules. Environ 90% des phanérogames sont pollinisées par les insectes; 10% seulement, étant adaptées à la pollinisation par le vent, répandent habituellement leur pollen dans l'air. Ces espèces pollinisées par le vent sont cependant numériquement très abondantes; elles répandent dans l'ensemble de grandes quantités de pollen, si bien que le malheureux qui souffre de la fièvre des foins, allergique à certaines espèces de pollen, possède en son appareil respiratoire un indicateur des périodes de floraison. Dans les régions tempérées, il y a trois saisons principales pour la présence de pollen dans l'air. Le pollen des arbres, au printemps, commence avec l'ouverture des chatons des espèces à feuilles caduques, et se termine avec les conifères; heureusement, la sensibilité au pollen des arbres et surtout des pins est rare. Au début de l'été, c'est le pollen des graminées qui est responsable du plus grand nombre de malades. La fin de l'été amène un mélange habituellement appelé «pollen des herbes». Il comporte, en Europe, celui des orties, et en Amérique du Nord le très actif pollen des ambrosies (*Ambrosia* spp.); un air sans pollen d'ambrosie peut être aussi important pour la santé d'un Américain que l'est, en Grande Bretagne, une insolation élevée.

Les bactéries de l'air ne peuvent être dénombrées que par la culture, et, à cause des problèmes techniques de la culture, nous n'avons aucune idée sur le nombre des bactéries qui, de leur côté, échappent à la détection. Il est donc impossible de comparer avec précision le nombre total des bactéries et des champignons dans l'air. Il est cependant clair qu'habituellement, le nombre des moisissures cultivables excède celui des bactéries, et Miquel était réellement embarrassé par la quantité élevée des moisissures dans l'air. Ses premiers travaux suggéraient la présence de 700 bactéries et de 30 000 spores de moisissures par mètre cube; ses moyennes établies sur une longue période de 300 bactéries et de 200 spores de moisissures par mètre cube à l'Observatoire de Montsouris n'ont été obtenues qu'après qu'il eut passé à l'utilisation d'un milieu sans sucre afin d'entraver la croissance des moisissures, technique suivie ensuite par de nombreux chercheurs. Les bactéries de l'air comportent beaucoup de micrococques et de bacilles, mais aussi, de façon assez surprenante, de grandes quantités de non sporulés.

L'examen optique des spores de champignons déposées sur une lame de microscope, par analyse continue à l'aide de l'appareil de Hirst, installé dans un champ à la Station Expérimentale de Rothamsted [4], montre que les organismes prédominant dans l'air extérieur, pendant le jour, dans les mois chauds, sont les spores de *Cladosporium*, un genre de moisissures saprophytes que l'on trouve sur les végétaux en voie de décomposition; la moyenne était de 5 800 par mètre cube d'air au niveau du sol, pendant les mois de juin à octobre 1952. Cette prédominance des *Cladosporium* est vraie pour la plupart des autres parties du monde, ce qui se trouve confirmé par la méthode des cultures et l'examen des dépôts. Des études sont nécessaires pour savoir comment les *Cladosporium* parviennent dans l'air. Les plus abondantes à Rothamsted sont ensuite les ballistospores. Leur origine comprend des sporobolomycètes,

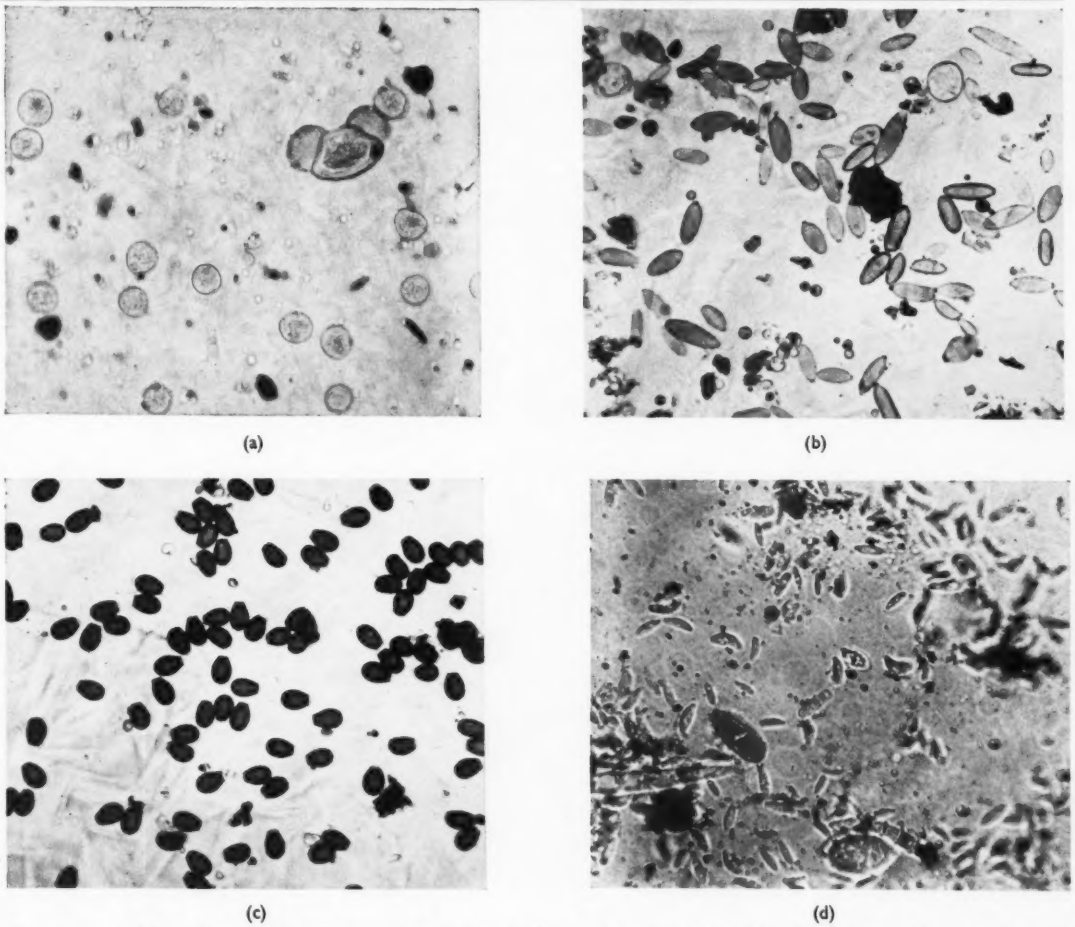

FIGURE 1 – *Microphotographies montrant le pollen et les spores de champignons contenus dans l'air à 0,5 m au-dessus du niveau du sol, au long d'une rivière, à Imperial College Field Station, Sunninghill, Berkshire, été* 1958. (a) 15 *juin*, 17,00 *heures. Pollen de Pin (avec deux sacs à air) et de graminées* (×230); (b) 16 *juin*, 10,00 *heures. Spores de moisissure*, Cladosporium (×450); (c) 19 *juin*, 02,30 *heures. Spores de polypore* Ganoderma applanatum ×(450); (d) 19 *juin*, 04,00 *heures. Spores de* Sporobolomyces (×1000).

qui se développent à la surface des feuilles vivantes et âgées, les champignons, comestibles ou vénéneux, dont la moyenne atteint 4 400 par mètre cube et qui prédominent la nuit. La reconnaissance de l'importance numérique des ballistospores a été longtemps retardée pour deux raisons. D'abord parce que ces très petites spores n'étaient pas efficacement collectées par les surfaces engluées utilisées comme pièges dans la plupart des travaux d'aérobiologie, et, ensuite, parce que la plupart des microbiologistes n'étaient pas familiarisés avec les spores des champignons supérieurs. Les spores de divers champignons parasites des cultures tels que les rouilles, les charbons, les mildious sont souvent présents dans l'air en grande quantité, mais leur présence, comme celle du pollen des phanérogames est très saisonnière.

Les chiffres données ci-dessus sont des moyennes de fréquences établies à partir d'analyses continues étendues sur plusieurs semaines. Les moyennes horaires sont souvent beaucoup plus élevées ou beaucoup plus faibles; par exemple, *Cladosporium* peut atteindre 100 000 et *Sporobolomyces* 1 000 000 par mètre cube. On a des preuves que les variations de plus courte période sont encore plus accentuées: le pollen des ambrosies dans des essais de quelques minutes a atteint des concentrations supérieures à 10 millions par mètre cube [2].

Miquel a estimé les «œufs» de protozoaires dans l'air à 0,1 par mètre cube, mais des travaux ultérieurs de Puschkarew basés sur des tests moins nombreux font état d'un chiffre dix fois supérieur. Les cyanophycées peuvent atteindre 1 à 10 par mètre cube, les spores de myxomycètes sont sans doute moins abondantes. Les spores des fougères et des mousses sont souvent très abondantes pendant de courtes périodes.

Les concentrations des quelques organismes étudiés en détail varient avec une périodicité diurne caractéristique, de même que le pollen des graminées. Miquel, effectuant des analyses horaires sur plus d'un an au parc Montsouris a mis en évidence deux maxima et deux minima dans le cycle journalier de la population bactérienne. Aucun autre travail de cet ordre n'a cependant été entrepris avec les bactéries, depuis 1884 et il faudrait étendre et répéter ces recherches.

Les spores des champignons montrent aussi diverses périodicités diurnes mais chaque type ne présente habituellement qu'un maximum et qu'un minimum par jour. Par exemple, en Angleterre, les spores de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, sont plus abondantes peu avant midi, alors que celles de *Cladosporium* et de quelques rouilles atteignent leur maximum dans l'après-midi. Les spores de *Sporobolomyces*, les basidiospores des champignons comestibles et vénéneux, et des polypores, sont plus abondantes pendant la nuit. On ne connaît encore que peu de chose sur les variations qui affectent ces cycles dans les diverses parties du monde. Il est clair que ces cycles diurnes sont en grande partie déterminés par l'action des facteurs météorologiques sur la libération et la dispersion des spores, selon des processus qui ne sont connus que pour quelques espèces de champignons. Certains, comme deux parasites importants des cultures, *Ophiobolus graminis* et *Venturia inaequalis* (agents respectifs du piétin du blé et de la tavelure du pommier) dépendent pour la libération de leurs spores de l'humidification du substrat par la pluie ou la rosée; ils apparaissent dans l'air en grande quantité seulement après la pluie.

L'ORIGINE DES SPORES DE L'AIR

En dépit d'affirmations contraires, il fait peu de doute que la majorité des spores de l'air proviennent de sources situées à la surface du sol, telles que les plantes et les débris végétaux, plutôt que du sol lui-même. Seules sont encore douteuses les sources de protozoaires, de bactéries et de levures (autres que les sporobolomycètes). La population de l'air est peu riche en organismes du sol typiques et représente surtout ceux qui vivent au-dessus de sa surface. La poussière que le vent emporte du sol et de sa surface est peut-être la source principale des bactéries et levures de l'atmosphère, et le maximum saisonnier que montrent les bactéries dans l'air des régions tempérées semble lié au travail des sols nus au printemps ou à l'arrivée de vents violents. Les gouttelettes qui proviennent des eaux marines ou des eaux douces, ou encore des terres humides, contribuent naturellement à la dissémination dans l'air des organismes vivant à la surface du sol.

LES SPORES DANS L'AIR AU-DESSUS DE L'OCÉAN

Les échantillons prélevés à partir de bateaux montrent que, par vent de terre, on trouve souvent des spores terrestres à plusieurs centaines de kilomètres du rivage, mais qu'au milieu de l'océan l'air est à peu près vierge de contamination microbienne. La proportion des bactéries halophiles augmente à proximité de l'océan. Le pollen peut être parfois trouvé en quantité à quelques kilomètres en mer, mais sa concentration diminue plus vite quand on s'éloigne que celle des moisissures ou des bactéries. Cependant, même au milieu de l'océan, sur les côtes du Groënland et sur les îles éloignées, le pollen des arbres tombe en quantités faibles mais mesurables, après avoir été transporté sur des centaines ou des milliers de kilomètres par le vent.

LA TROPOSPHÈRE SUPÉRIEURE

La présence de pollen et de microbes dans les diverses couches de l'atmosphère a été confirmée par les prélèvements effectués par sondes, ballons et avions. Des considérations théoriques suggèrent que la concentration des spores devrait décroître de façon logarithmique avec la hauteur, si l'on admet que les spores en suspension dans l'air qui proviennent du sol atteignent un équilibre résultant des actions antagonistes de la turbulence de l'atmosphère qui tend à les élever et de la sédimentation par suite de la pesanteur. Pratiquement, la concentration commence par décroître quand on s'élève au-dessus du sol. Parfois, et surtout en moyenne, la décroissance suit à peu près une loi logarithmique jusqu'à plusieurs milliers de mètres au-dessus du sol. Mais une décroissance logarithmique est en tous cas une condition idéale rarement réalisée dans l'atmosphère, et il apparaît pratiquement toujours une

5

zone de concentration plus élevée à environ deux ou trois milliers de mètres. Ce fait a conduit à l'hypothèse d'une zone «biotique» dans les couches supérieures de l'atmosphère, mais il s'explique probablement en partie par les mouvements variés des masses d'air aux diverses altitudes, et en partie par le lessivage des couches inférieures par les pluies. La concentration microbienne est parfois élevée à la base des nuages, et les spores peuvent peut-être s'y trouver concentrées, ayant été amenées par les gouttelettes soumises aux courants de convection ascendants qui existent dans les cumulus. Cet effet devrait être particulièrement remarquable au-dessus de l'océan, où la population n'est pas constamment renouvelée par des apports venant de la surface.

Des mesures systématiques de la concentration des spores à diverses hauteurs au-dessus des océans sont encore à faire, mais les observations faites à l'aide de diverses méthodes à partir de bateaux et d'avions suggèrent l'existence d'un gradient inverse de celui qui existe au-dessus des terres. Loin en mer, l'air, au niveau de la surface, semble ne contenir que très peu de microbes, alors que plusieurs milliers de mètres plus haut, les concentrations de bactéries, spores de champignons et pollens peuvent être particulièrement élevées. Les études effectuées par S. M. Pady et collaborateurs [6, 7], par exemple, indiquent que les concentrations de spores de champignons et de pollen atteignent des dizaines et des centaines par mètre cube à 3 000 mètres au-dessus de l'Atlantique Nord, alors que G. Erdtmann [3], effectuant ses prélèvements à bord d'un bateau, a trouvé des valeurs dix à cent fois moindres. Il s'agit donc de transport par les masses d'air des spores qu'elles ont accumulées au cours de leur passage au-dessus des continents et d'appauvrissement progressif des couches inférieures au-dessus de la mer par suite de la sédimentation et du lessivage par les pluies.

Il faut remarquer que le contenu microbien de l'air au-dessus de la troposphère reste encore presque inexploré. Les échantillons prélevés dans la stratosphère par le ballon *Explorer II* en 1935 n'ont pas été renouvelés depuis.

CARACTÈRES DES PROCESSUS DE DISTRIBUTION DANS L'ATMOSPHÈRE

Les concentrations atmosphériques rapportées plus haut proviennent de nombreuses sources de spores. Il nous faut examiner maintenant le problème de la distribution dans l'espace des spores libérées à partir d'une seule source. L'expérience commune laisse supposer une décroissance de la contamination de l'air ou du sol avec la distance horizontale de la source. Ceci se vérifie couramment en pratique [9]; c'est un phénomène largement exploité pour isoler les cultures saines des cultures malades, les malades souffrant de la fièvre des foins des sources de pollen, et les cultures grainières des contaminations génétiques que pourraient causer les pollens apportés par les vents. Si l'on trace, à l'aide d'une échelle linéaire, la courbe de décroissance de la contamination de l'air en fonction de la distance à une source ponctuelle de spores, dans le sens du vent, au niveau du sol, on obtient une courbe concave. Les mécanismes responsables de ce «gradient d'infection» caractéristique sont probablement, par ordre d'importance (I) la dilution turbulente tridimensionnelle des masses d'air chargées de spores et de pollen par l'air vierge lorsque l'air impur descend avec le vent; (II) une perte appréciable de particules du nuage chargé de spores par dépôts à la surface du sol, sur la végétation, et sur d'autres surfaces, surtout au cours des premières phases du transport, lorsque le nuage est concentré près du sol; et (III) la perte de vitalité qui peut ou non affecter les résultats. En réalité, la source n'est pas un point, son étendue et sa forme affectent aussi le gradient de dispersion; la concentration est plus élevée si la source a une certaine étendue au lieu d'être ponctuelle, et elle baisse aussi moins rapidement. Comme on peut s'y attendre, si l'on élève la source au-dessus du sol, les pertes par dépôt au voisinage de l'origine diminuent.

La prédiction de la concentration dans le nuage de spores à une distance donnée du parcours présuppose un traitement théorique adéquat à la fois du très difficile problème de la turbulence atmosphérique et de l'aspect quantitatif de la sédimentation. Différentes théories, maintenant courantes, prédisent diverses concentrations à une distance donnée, mais s'accordent en général avec l'observation et l'expérience pour prévoir une décroissance rapide de la concentration à mesure que la distance à la source s'accroît. Par exemple, il semble bien que 90% des spores de la carie du blé, *Tilletia tritici*, et du *Lycopodium*, sont déposées à moins de cent mètres de la source quand elles sont libérées juste au-dessus du niveau du sol. La théorie suggère que des particules plus petites seraient déposées rapidement, mais il y a peu d'arguments expérimentaux en faveur de cette conception.

Il y a ici un paradoxe évident. Avec un tel taux de sédimentation à proximité de la source, l'effet

d'une source ponctuelle à des distances supérieures à quelques centaines de mètres devrait être négligeable, et malgré tout, la concentration des micro-organismes dans les couches supérieures de l'atmosphère et même à quelque distance en mer est substantielle. Le paradoxe est probablement explicable par le fait que bien que la queue éloignée de la distribution à partir d'une source ponctuelle soit réellement négligeable, la quantité qui se trouve dans les couches supérieures de l'atmosphère au-dessus de l'océan est la somme des queues de distribution de toutes les sources ponctuelles présentes sur le continent que le vent a traversé.

Le type de la dispersion par le vent diffère d'une distribution gaussienne par l'existence de concentrations élevées à la fois très près de l'origine et à de grandes distances, compensées par des concentrations plus faibles pour les distances intermédiaires [1].

L'ACHÈVEMENT DES PROCESSUS DE DISPERSION

Les gradients d'infection relatifs à quelques parasites des végétaux ont été suivis sur des dizaines ou des centaines de kilomètres. Les spores de certaines rouilles des céréales migrent chaque année aux Indes et en Union Soviétique sur des centaines de kilomètres, tandis qu'au-dessus du continent Nord Américain, la migration des spores de la rouille du blé qui se fait au début de l'été vers le nord est suivie à l'automne par une migration en sens inverse. Pourtant les espèces et races de rouille ne se distribuent pas également partout dans le monde: les océans et les grandes chaînes de montagnes ainsi que les déserts semblent représenter des obstacles presque infranchissables.

S'il ne meurt pas par dessiccation ou par suite des irradiations, un microbe finit toujours par revenir à la surface du sol, soit par simple sédimentation, soit apporté par la pluie, la neige ou la grêle. La précipitation par les pluies est un phénomène qui n'a jamais été étudié systématiquement et des techniques adéquates doivent encore être élaborées. L'examen de la grêle donne des résultats particulièrement nets parce que la surface des grêlons peut être stérilisée, ce qui élimine les éventuelles contaminations par le sol. Les gouttes de pluie entraînent dans leur chute une fraction appréciable des microbes de l'air, et toute pluie apporte du ciel une riche flore de bactéries, d'algues, de spores de champignons et de mousses, ainsi que du pollen. L'eau de précipitation, qu'elle soit collectée en pleine campagne, sur les océans ou dans les régions polaires, n'est pas stérile. Bien qu'une spore ait plus de chances de faire retour au sol, dès les premières centaines de mètres de son parcours par simple sédimentation ou par suite de collision avec une surface quelconque, c'est la pluie qui termine le vol de la plupart de celles qui ont réussi à s'échapper dans les airs.

Les conditions dans les espaces situés au-delà de notre atmosphère, pour autant qu'on les connaisse, semblent représenter un milieu très peu favorable aux micro-organismes qui ne sont pas protégés. Si l'on essaie de détecter les spores viables dans les espaces interplanétaires, des techniques spéciales, qui devront peu aux techniques classiques, devront être élaborées. Mais l'expérience acquise dans l'analyse de notre propre atmosphère peut servir à l'étude de quelques-uns des problèmes qui se poseront dans l'analyse de l'atmosphère d'autres planètes. Les méthodes classiques d'analyse des aérosols intérieurs sont en défaut quand on les applique à l'analyse de spores dans des masses d'air en mouvement, et il est nécessaire de développer de meilleures méthodes d'analyse, surtout pour l'analyse par culture.

Les données que nous possédons maintenant sur la circulation des microbes dans l'atmosphère de notre planète, avec toutes leurs implications en agriculture, médecine et biologie théorique nous laissent un peu déçus par leur imperfection. Il est regrettable que l'exploration de notre atmosphère ne fasse que commencer et que nous ne soyons pas encore correctement équipés de techniques éprouvées, à l'heure où l'analyse des atmosphères des autres planètes va devenir pour nous un problème à l'ordre du jour.

RÉFÉRENCES

[1] BATEMAN, A. J. *Heredity*, **4**, 353, 1950.
[2] DURHAM, O. C. *J. Allergy*, **18**, 231, 1947.
[3] ERDTMANN, G. «An Introduction to Pollen Analysis», Chronica Botanica, Waltham, Massachusetts. 1943.
[4] GREGORY, P. H. et HIRST, J. M. *J. gen. Microbiol.*, **17**, 135, 1957.
[5] INGOLD, C. T. *Endeavour*, **16**, 78, 1957.
[6] PADY, S. M. et KAPICA, L. *Mycologia*, **47**, 35, 1955.
[7] PADY, S. M. et KELLY, C. D. *Canad. J. Bot.*, **32**, 202, 1954.
[8] STEPANOV, K. M. Труд. Защ. Раст. Ленинград (Сер. 2, Фитопат.), **8**, 1, 1935.
[9] WOLFENBARGER, D. O. *Lloydia*, **22**, 1, 1959.

Revue des livres

SCIENCE GÉNÉRALE

PAYNE, G. L.: *Britain's Scientific and Technological Manpower*. Pp. XIII + 466. Oxford University Press, Londres. 1960. 45s.

Les Américains ont une curiosité insatiable, et ce livre en donne un exemple parfait. C'est un résumé d'informations sur l'enseignement scientifique et technique en Grande-Bretagne, le nombre d'étudiants et la distribution du personnel scientifique et technologique dans l'industrie, l'enseignement et les services gouvernementaux. Il repose sur des publications officielles et rassemble sous une forme compacte et lucide une vaste documentation dont nous soupçonnons l'existence sans bien savoir où la rechercher. Voici au hasard quelques détails cités: nombre de chimistes et de physiciens de recherche ayant quitté la Grande-Bretagne pour le Canada et les U.S.A. de 1950 à 1956, recrutement annuel en savants et ingénieurs de cinquante entreprises de construction mécanique, répartition entre les diverses formes d'enseignement secondaire des enfants nés en 1936, entre 1948 et 1955, pourcentage d'étudiants habitant en pension, en chambre particulière ou chez eux de 1938 à 1958, nombre de candidats aux *National* et *Higher National Certificates*, collèges techniques permettant de passer des diplômes de technologie, analyse des projets de constructions universitaires à l'étude, sommes consacrées à la recherche et au développement en Grande-Bretagne et nombre d'inventions provenant de l'industrie, des universités et des services gouvernementaux soumises à la *National Research Development Corporation*. Les faits perdront leur actualité, mais le volume continuera à être utile grâce à sa bibliographie développée. E. ASHBY

PHYSIQUE

LANDAU, L. D. et LIFSHITZ, E. M.: *Course of Theoretical Physics*, Vol. VI, *Fluid Mechanics* (traduit par J. B. Sykes et W. H. Reid.). Pp. X + 536. Pergamon Press Ltd., Londres. 1959. 105s.

Ce volume est le 6e du cours de physique théorique en neuf volumes, œuvre de deux physiciens russes distingués. Il fait un exposé remarquable de nos connaissances sur la dynamique des fluides, la traitant comme branche de la physique théorique plutôt que comme exercice d'analyse mathématique. Le sujet est présenté avec concision et clarté, de façon dogmatique plutôt que spéculative. Les références historiques peu nombreuses se rapportent surtout aux chercheurs russes; Zhukovskii et Chaplygin sont cités (avec raison) mais ni Lanchester ni Sir Geoffrey Taylor. Le choix des sujets traités est généreux et comporte, en plus des questions habituellement traitées dans les ouvrages anglais, la dynamique de la combustion, celle des fluides en relativité et la théorie des superfluides. Le lecteur anglais devra se reporter à d'autres œuvres pour la théorie mathématique, les résultats expérimentaux et les applications aéronautiques, mais le volume actuel constitue une splendide introduction au sujet. Il rendra grand service aux étudiants se spécialisant dans la mécanique des fluides ou abordant des recherches dans ce domaine stimulant et en pleine expansion. G. TEMPLE

LARK-HOROVITZ, K. et JOHNSON, V. A. publié par: *Methods of Experimental Physics*, Vol. VI. Partie A: *Preparation, Structure, Mechanical and Thermal Properties*. Pp. XVI + 466. $11,80. Partie B: *Electrical, Magnetic and Optical Properties*. Pp. XIV + 416. $11. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Ltd., Londres. 1959.

Bien que faisant partie d'une série, ce volume fait un tout en soi, comprenant même une brève étude du traitement des erreurs d'observation. Son but est d'exposer sans longueurs les méthodes expérimentales employées dans l'étude de l'état solide. Il traite de la préparation de spécimens et de la mesure de leurs propriétés physiques principales. La liste impressionnante d'auteurs, tous également distingués dans leur domaine particulier, et la présentation habile et soignée du regretté Professeur Lark-Horovitz (que ces volumes ne permettront pas d'oublier) et du Professeur Vivian Johnson ont produit une œuvre lucide, d'autorité et d'envergure.

Chaque chapitre est précédé d'une introduction générale et d'une esquisse théorique avant l'examen critique des méthodes et techniques expérimentales principales. Le niveau est naturellement un peu inégal dans une œuvre de ce genre, certaines sections paraissant trop développées et d'autres pas assez. Un certain nombre de techniques décrites sont bien connues, comme la diffraction des rayons X; sa présence est peut-être justifiée pour rendre l'exposé vraiment complet. La présentation est excellente et presque toutes les illustrations sont claires et instructives. Très peu de fautes d'impression. Toutes les sections sont suivies d'une bonne bibliographie soit complète, soit partielle, renseignant utilement sur la littérature concernant la question jusqu'en 1959. L. PINCHERLE

MANDL, F.: *Introduction to Quantum Field Theory*. Pp. VII + 202. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 34s.

ROMAN, P.: *Theory of Elementary Particles*. Pp. XII + 575. North Holland Publishing Co., Amsterdam. 1960. 100s.

La théorie actuelle des particules élémentaires et de leurs interactions repose sur l'attribution à chaque particule d'un champ de relativité remplissant tout l'espace-temps; les particules elles-mêmes sont des manifestations quantiques de ce champ. Le photon constitue un bon exemple: si l'on traite le champ électromagnétique de Maxwell comme un système dynamique et si l'on utilise les procédés classiques de quantification, on arrive naturellement et simplement à la description d'un faisceau de photons se déplaçant librement. Les difficultés se présentent quand on essaie de décrire les interactions de ces diverses particules et de leurs champs correspondants.

Un certain nombre de quantités physiques se conservent dans toutes ces interactions, c'est-à-dire que leur valeur reste constante pendant la durée du phénomène. Ce sont, entre autres, la charge électrique, l'énergie totale et la quantité de mouvement angulaire total. Une des méthodes les plus fructueuses en théorie des particules élémentaires consiste à s'attacher à ces quantités invariantes, à incorporer à la structure des champs quantiques les principes physiques fondamentaux de ces lois de conservation, puis d'en tirer toutes les conclusions possibles en vue d'expérimentation future sans spécifier la forme quelconque d'interaction entre les particules-mêmes. Ce minimum de théorie permet de découvrir et de prévoir un nombre étonnant de faits. En effet, toutes les grandes découvertes dues à la théorie

ces six dernières années ont suivi ce plan; le principe de parité en est un exemple remarquable. L'œuvre de Roman est consacrée à l'étude de ces principes d'invariance.

Mandl, par contre, aborde la question du point de vue exactement inverse. Son livre expose la méthode Feynman-Dyson, très fructueuse dans le calcul des sections efficaces de diffusion, une fois qu'on a postulé, intuition aidant, la forme possible de la force d'interaction.

Les deux ouvrages sont de points de vue, mais aussi de styles différents. Mandl a cherché a faire œuvre courte, esquissant aussi rapidement que possible les techniques de mise en équation possible des champs et de leur résolution. Le livre de Roman est relativement plus fourni, étudiant sans se presser des questions telles que la représentation du groupe orthogonal à quatre dimensions, les notions de réflexion de temps et d'espace et les divers systèmes de classification possibles des particules élémentaires comme multiplets; une centaine de pages environ sont consacrées à l'étude d'équations de champs sur les particules sans interaction.

Toute la documentation de Mandl se trouve déjà dans des textes classiques tels que *Theory of Photons and Electrons* de Jauch et Rohrlich et *Introduction to the Theory of Quantized Fields* de Boguliubov et Shirkov; le livre répond cependant à un besoin réel. On regrette seulement qu'il ne soit pas encore plus mince. Un volume broché, moitié moins gros et deux fois moins cher, que chaque étudiant pourrait s'offrir en plus d'un des gros ouvrages classiques, aurait été préférable. Un résumé sous forme de tableau donnant les règles de transcription des éléments matriciels S et de calcul des probabilités de transition, aurait été aussi le bienvenu.

Le meilleur chapitre de Roman est le premier, sur le groupe de rotation. L'ensemble de l'ouvrage se ressent évidemment du développement rapide du sujet, bien qu'il rassemble un nombre impressionnant de questions traitées dans des périodiques dispersés. Celle de la parité, par exemple, ne pourra être complétée avant qu'on ne comprenne la désintégration des particules «étranges». De même, les théories actuelles sur l'espace isobare représentent probablement une phase sans lendemain de l'évolution des idées sur ce point. Le volume complétera utilement la maigre littérature sur les principes d'invariance. A. SALAM

The Many Body Problem. Université de Grenoble. Cours donnés à l'école d'été de physique théorique. 1958. Pp. xv+675. Methuen & Co. Ltd., Londres. 1959. 100s.

Ce gros volume renferme les cours d'été de physique théorique donnés par l'Université de Grenoble aux Houches en 1958. Ils se rapportent tous aux méthodes récemment mises au point pour l'étude des problèmes de corps nombreux au niveau d'interactions entre les particules individuelles. Dans le premier article, N. M. Hugenholtz décrit les élégants travaux qu'il a effectués en collaboration avec L. van Hove sur les techniques fondamentales nécessaires dans l'application de la théorie de perturbation aux systèmes à nombreux fermions. La méthode des graphiques et l'emploi de la notion de trou sont compris.

Viennent ensuite deux longs chapitres de K. A. Brueckner. Le premier relate ses tentatives de résolution du problème de la structure nucléaire à partir d'une interaction donnée entre deux corps. Dans le second, il emploie des méthodes similaires avec He^3 liquide et le gaz électronique.

Il y a plusieurs autres chapitres sur la théorie fondamentale: un de J. R. Schrieffer sur la théorie Bardeen-Cooper-Schrieffer de la supraconductivité et deux de K. Huang concernant les recherches qu'il a faites avec Lee et Yang sur le gaz boson à sphère dure. D'autres chapitres remarquables proviennent des conférences de B. R. Mottelson sur la structure et les déformations de la couche nucléaire, de D. Bohm sur les coordonnées collectives et de D. Pines sur les électrons, plasmons et phonons. Parmi les nombreuses contributions récentes, citons seulement l'étude brève, élégante et pénétrante de V. F. Weisskopf sur le fondement physique des théories sur la matière nucléaire.

J. HAMILTON

GOLDSMID, H. J.: *Applications of Thermoelectricity.* Pp. xv+118. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1960. 10s. 6d.

L'emploi des semi-conducteurs, au lieu de métaux, comme éléments de couples, a eu pour effet de réveiller ces dernières années la vieille science de la thermo-électricité. Les applications au laboratoire et la perspective encore plus attrayante de développements industriels révolutionnaires, tels que la production de frigidaires compacts, silencieux et de longévité illimitée et de générateurs thermo-électriques satisfaisants (pour la conversion de l'énergie solaire en particulier) ont retenu l'attention de nombreux physiciens et ingénieurs.

On avait donc besoin d'un ouvrage simple présentant le sujet et résumant les résultats déjà obtenus; c'est ce que ce volume essaie de faire. L'auteur a fait lui-même des apports importants sur la question et présente ici les développements actuels et futurs de façon excellente. La partie physique est moins heureuse, le niveau de connaissances demandé étant très inégal. Alors que les effets thermo-électriques sont longuement étudiés depuis les détails rudimentaires, le lecteur est supposé savoir ce que sont, notamment, les bandes d'énergie dans un semi-conducteur, les semi-conducteurs, dégénérés ou non, les impuretés de donneur et d'accepteur, le niveau de Fermi réduit et même l'effet de diffusion thermique de Soret. On pourrait aussi discuter le choix et la présentation de certains points et s'opposer, par exemple, à l'étude d'expériences sur la conductivité thermique de l'antimonure d'indium que personne n'a réussi à reproduire.

Le livre sera cependant utile aux jeunes désirant se familiariser avec la thermo-électricité et sera particulièrement bien accueilli des spécialistes de la physique des semi-conducteurs. Tous ceux qui s'intéressent aux progrès dans ce domaine le liront avec profit.

L. PINCHERLE

CHIMIE

PRIGOGINE, I., publié par: *Advances in Chemical Physics*, Vol. II. Pp. xi+414. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 87s.

Ce volume est le second d'une nouvelle série où les spécialistes sont invités à faire paraître leurs vues sur un sujet de leur choix sans aucune restriction. Des introductions critiques de ce genre rendent particulièrement service aux non initiés.

Dans le premier article de J. H. van der Waals et J. C. Platteeuw, l'exposé général des propriétés des solutions clathrate, est suivi d'une étude rigoureuse statistique et mécanique de leurs propriétés thermodynamiques et de la discussion des équilibres hétérogènes où entrent des composés clathrates. K. A. Pitzer passe en revue les diverses théories de forces intermoléculaires et intramoléculaires résultant de la

corrélation des mouvements d'électrons entre atomes ou molécules non liés. Il met l'accent sur les diverses approximations employées et compare les résultats avec l'expérience. L'apport de J. S. Rowlinson et M. J. Richardson a trait à la solubilité des solides dans les gaz comprimés. Les diagrammes de phases sont étudiés et les travaux expérimentaux sur un certain nombre de systèmes sont passés en revue. Après une introduction théorique, vient le calcul des seconds coefficients viriels à partir des mesures de solubilité et les résultats sont alors comparés à ceux que donnent les mesures habituelles de pression, volume et température. La thermodynamique des solutions métalliques est étudiée par R. A. Oriani et suivie d'une revue détaillée des réactions de polymérisation par M. Szwarc. Leur déclanchement, propagation et terminaison sont discutés et les «polymères vivants» sont traités. J. Duchesne décrit l'emploi des spectres de résonance quadripolaires du noyau dans l'étude des dégâts causés aux cristaux irradiés et Per-Olov Lowdin fait un exposé minutieux des diverses méthodes d'approche du problème de la corrélation dans la mécanique quantique à électrons multiples. L'article est suivi d'une liste bibliographique de H. Yoshizumi. Cette revue d'autorité d'un niveau plutôt technique ne rendrait pas grand service au profane. Mais le dernier article de E. Bright Wilson sur la question des obstacles à la rotation interne dans la molécule fait très clairement le point de la situation actuelle en ce qui concerne la façon de mesurer ces obstacles et leur interprétation.

R. E. RICHARDS

COTTON, F. A., publié par: *Progress in Inorganic Chemistry*, Vol. I. Pp. IX + 566. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 109s.

L'intérêt croissant qui se montre dans le monde entier pour la chimie minérale et l'accumulation rapide d'importantes connaissances nouvelles dans la littérature originale justifient pleinement la publication de cette nouvelle série d'études, qui doit traiter successivement de tous les grands sujets d'intérêt actuel dans ce domaine. Les sept questions traitées ici vont des composés métalliques cyclopentadiényliques et aréniques et des composés soufre-azote et complexes isocyanurés de métaux à l'étude largement théorique des solutions ammonio-métalliques et de l'effet de la rupture orbitale interne sur les propriétés thermodynamiques des composés de métaux de transition et les complexes de coordination. La chimie structurelle est bien représentée par des articles sur les composés d'insertion du graphite et sur la structure et les propriétés des oxydes métalliques mixtes. Les collaborateurs sont tous éminents dans leur domaine respectif et s'adressent en premier lieu au spécialiste, mais une bonne proportion du texte intéressera aussi une catégorie beaucoup plus vaste de lecteurs. Le caractère international de la série se reflète dans l'article du Professeur Becke-Goehring sur les composés soufre-azote, qui est en allemand; espérons que cette tendance se maintiendra et même s'épanouira à l'avenir.

H. J. EMELÉUS

KOLTHOFF, I. M. et ELVING, P. J., publié par: *Treatise on Analytical Chemistry*, Vol. I, Partie I, *Theory and Practice*, avec la collaboration de E. B. Sandell. Pp. XXVI + 809. Interscience Publishers Inc, New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 133s.

Ce traité est, paraît-il, un exposé complet de chimie analytique en trois parties: la première traitant de la chimie analytique et de ses méthodes, la seconde, de la chimie analytique des éléments et la troisième, de celle des matériaux industriels.

La section A, qui occupe les 93 premières pages, fait un exposé admirablement équilibré des buts, des diverses fonctions et des limites de la chimie analytique. Il est intéressant de voir que Sandell et Elving pensent toujours que la meilleure introduction à la recherche dans ce domaine est un entraînement poussé en analyse gravimétrique et volumétrique classique, analyse minérale comprise et que Sandell cite par la suite le discours classique de Lundell en 1933: «L'analyse des choses telles qu'elles sont». Cette philosophie offrira, en effet, une base solide à l'analyste de profession avant d'aborder la section B dont une très grande partie est consacrée à l'exposé de notions modernes de chimie minérale et physique. Ceci s'applique en particulier au chapitre de Watters sur les éléments et composés et à celui de T. S. Lee sur l'équilibre chimique et l'aspect thermodynamique des réactions. Il sera intéressant de voir, quand la 3e partie sera parue, comment s'est développée la technique analytique.

Le niveau des contributions est uniformément élevé et l'on se demande seulement si le projet n'est pas trop ambitieux ou le titre trop restreint.

R. C. CHIRNSIDE

PASCAL, P., publié par: *Nouveau traité de chimie minérale*, Vol. XVI. Pp. XXXIX + 1196. Masson et Cie., Paris. 1960. Broché, 170 NF; relié, 185 NF.

Ce volume traite de deux groupes très différents d'éléments: les halogènes qui occupent environ la moitié du texte et les métaux de transition, manganèse, technétium et rhénium. Sept auteurs ont pris part à l'ouvrage et, comme dans les volumes précédents de la série, l'étude des divers éléments suit un plan uniforme qui consiste en gros à décrire les éléments tour à tour. La chimie comparée est peu étudiée. Les notes bibliographiques ne dépassent pas les dates 1956–58, ce qui exclut un certain nombre de progrès récents importants, surtout dans le cas des halogènes. Les chapitres sur le technétium et le rhénium seront probablement utiles, car peu de résumés de travaux existent sur ces nouveaux éléments. L'ensemble constitue un ouvrage de référence remarquable, d'autant plus qu'il insiste sur les aspects physico-chimiques de la question. La documentation, assez complète mais sans détails superflus, est bien présentée avec sens critique. La présentation du volume est aussi excellente.

H. J. EMELÉUS

BASS, A. M. et BROIDA, H. P., publié par: *Formation and Trapping of Free Radicals*, Pp. XVI + 522. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Ltd., Londres. 1960. $16.

Les connaissances sur les radicaux libres se sont grandement développées ces dernières années, progrès qui sont dus en partie à l'emploi des techniques nouvelles, comme la spectroscopie à résonance paramagnétique, pour la mesure de leurs propriétés et en partie grâce au perfectionnement et à l'exploitation du procédé de transformation par le gel en solides inertes à des températures très basses. On peut ainsi les conserver intacts pendant des heures, des jours et des semaines et les étudier par des méthodes très variées. Cette série d'articles, œuvre d'un certain nombre de spécialistes, décrit les techniques de production et d'isolement des radicaux libres dans des gangues solides et la façon de les étudier. Les ouvrages à plusieurs auteurs manquent toujours un peu de cohérence et les

renvois risquent d'être insuffisants; mais ici, un index suffisant réduit le danger au minimum et le choix des auteurs répond de la compétence des exposés. Il y a seize articles séparés, ce qui assure une étude très complète du sujet, habilement dirigée dans le cas d'un groupe particulier par les deux chefs de publication. J. W. LINNETT

WEISSBERGER, A., publié par: *Technique of Organic Chemistry*, Vol. I, Partie I — *Physical Methods of Organic Chemistry*. (3e édition entièrement revue et augmentée.) Pp. XII + 894 + 1–24 (Index). Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 148s.

Les conquêtes des physiciens du XIXe siècle sont devenues les techniques de base du chimiste au XXe, avec l'aide toutefois d'appareils électroniques de contrôle et d'enregistrement permettant d'éliminer le risque d'erreurs dans l'enregistrement final de valeurs numériques exactes. C'est pourquoi ce volume de quinze chapitres sur la calorimétrie et la mesure des températures et, en plus, certaines sections sur les propriétés de la matière applicables de nos jours à la découverte de la structure des molécules chimiques, est en réalité un ouvrage de référence détaillé sur la physique expérimentale classique.

L'ouvrage inaugure une édition nouvelle de la série d'ouvrages à consulter de Weissberger sur les techniques de la chimie organique. Bon nombre de chapitres parus il y a dix ans ont été remis à jour et il y en a de nouveaux sur des points tels que le contrôle automatique et l'enregistrement automatique. Les quatre volumes augmenteront l'ancienne édition de moitié environ. Les excellents exposés théoriques des auteurs originaux sont heureusement restés intacts, les notes bibliographiques sont toujours aussi complètes et l'impression toujours aussi claire, en particulier dans les diagrammes. W. A. WATERS

GINSBURG, D., publié par: *Non-benzenoid Aromatic Compounds*. Pp. XII + 543. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 135s.

Des progrès théoriques et pratiques considérables ont été réalisés ces dernières années dans la chimie des composés aromatiques non-benzéniques. Ce volume, collection d'exposés sur divers aspects du sujet, arrive donc à point et fera une contribution de valeur à la littérature chimique.

Les titres des 9 chapitres donnent une idée de l'envergure de l'œuvre: Nature aromatique (Craig), cyclobutadiène et composés apparentés (Baker et McOmie), composés dérivés du cyclopentadiène (Pauson), pentalène et heptalène (Bergmann), azulènes (Heilbronner), méthodes de production de l'azulène (Keller-Schierlein et Heilbronner), tropones et tropolones (Nozoe), cyclo-octatetraène (Raphael), cyclopolyoléfines (Baker et McOmie). La plupart des chapitres sont l'œuvre d'un des meilleurs spécialistes dans ce domaine.

Le choix des sujets est judicieux car, bien que le cyclobutadiène, le pentalène, l'heptalène et le cyclo-octotétraène n'appartiennent aucunement au groupe des carbures aromatiques, c'est la recherche de la nature aromatique dans les composés organiques qui a donné l'élan à l'étude de ces systèmes captivants.

Dans un domaine à expansion aussi rapide que celui-ci, il est inévitable qu'un ouvrage soit déjà quelque peu dépassé au moment de sa publication. Le délai dans ce cas a été réduit au minimum et des notes ont été ajoutées sur les épreuves — point très appréciable. L'impression et la présentation des formules sont excellentes.

F. SONDHEIMER

CRISTALLOGRAPHIE

DE JONG, W. F.: *General Crystallography, a Brief Compendium*. Pp. 281. W. H. Freeman & Co., Londres. 38s.

Livre vraiment remarquable. L'auteur s'est efforcé, avec la collaboration de J. Bouman, de condenser l'ensemble de la cristallographie en 265 pages. Les quatre sections traitent de la cristallographie géométrique, structurale, chimique et physique. Des renvois nombreux à des ouvrages originaux et autres permettront à ceux qui trouvent difficile de suivre les explications brèves mais claires de se renseigner plus amplement. Tant d'aspects divers du sujet ont été traités, même rapidement, que beaucoup de chimistes, de physiciens et de minéralogistes s'étonneront de voir combien de questions embrasse la cristallographie.

Les nombreux tableaux et diagrammes sont bien disposés et il est facile de trouver les renseignements voulus. La trigonométrie sphérique, par exemple, nécessaire au cristallographe, est présentée sous forme admirablement compacte dans la section sur la cristallographie géométrique, où l'on trouvera aussi un exposé utile de la projection stéréographique et un tableau traduisant la description des catégories cristallines des minéralogistes et cristallographes de structure.

L'auteur et son collaborateur méritent nos félicitations pour cette présentation si vaste d'un sujet souvent considéré (à tort) comme une étroite spécialité. M. R. TRUTER

MINÉRALOGIE

HURLBUT, C. S., Jr., revu par: *Dana's Manual of Mineralogy* (17e édition). Pp. XI + 609. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1960. 92s.

Ce manuel d'introduction à la minéralogie a gardé une supériorité incontestée depuis sa publication en 1848. Il a été tenu à jour par des révisions, des modifications et des développements continuels, mouvement qui se maintient dans la nouvelle édition parue sept ans seulement après la précédente. Les principes de la chimie des cristaux, qui relient composition chimique, structure interne et propriétés chimiques ont maintenant place prépondérante et servent de base à la description des groupes minéraux. Les propriétés physiques principales sont bien présentées, mais les propriétés optiques ne sont pas traitées, ce que regretteront sans doute quelques géologues. Parmi les additions importantes à l'étude de la cristallographie, on note la projection stéréographique, le calcul du rapport axial et les méthodes employées dans la cristallographie par les rayons X. La classification des minéraux dans la partie descriptive du volume est celle que l'on trouve dans le classique *System of Mineralogy* du même auteur, actuellement en cours de révision et dont deux volumes ont paru jusqu'ici. Les silicates sont groupés d'après leur structure et la nomenclature de Strunz adoptée. Cette édition conviendra aux chimistes, physiciens, géologues et étudiants de minéralogie, tout en faisant une bonne introduction au sujet.

H. H. READ

BIOLOGIE

BASS, A. D., publié par: *Evolution of Nervous Control from Primitive Organisms*

to Man. Pp. VII+231. Publication No. 52 of the American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. 1959.

Ce volume renferme quelques articles intéressants mais déçoit un peu à cause de son titre. Chaque auteur fait le compte rendu de ses travaux sur le système nerveux, mais aucun n'aborde véritablement la question de son évolution. Les articles de Ladd, Prosser et Grundfest captiveront les spécialistes de physiologie comparée. Celui de Teuber fait un excellent résumé de ses travaux sur les anomalies évidentes dans toutes les fonctions nerveuses lorsqu'on les étudie suffisamment en détail, même après des lésions localisées du cerveau. Le psychanalyste Mirsky a beaucoup à dire sur l'hypnotisme mais effleure à peine l'évolution des mécanismes de contrôle. J. Z. YOUNG

Genetics and Twentieth Century Darwinism. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. Pp. XV+321. The Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, L.I., New-York. 1959. $8.

S'il fallait choisir entre toutes les publications ayant trait au centenaire de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle, la palme irait sans doute à la Conférence de Cold Spring Harbor sur la génétique et le darwinisme au XXe siècle. Elle consiste en 25 articles environ, œuvre d'expérimentateurs actifs et distingués dont aucun chercheur ne peut se permettre de négliger les conclusions et la pensée.

La place manque pour rendre justice à tous; citons seulement le premier et le dernier. Sous le titre «Où sommes-nous?» et «Synthèse des problèmes de l'évolution organique», les Professeurs Ernst Mayr et G. Ledyard Stebbins ont fait l'apport d'articles remarquables, non seulement parce qu'ils font le panorama des grandes victoires du passé dans le domaine de l'évolution mais parce qu'ils ne permettent jamais d'oublier que, quelles que soient les connaissances d'aujourd'hui, il reste encore infiniment plus à découvrir. En indiquant le tendon d'Achille de la sélection naturelle et la différence entre valeur de sélection poussée et valeur d'adaptation poussée atteinte par les organismes, l'ouvrage incite à la réflexion, la première de ces deux valeurs étant sans doute le chemin direct vers l'extinction. Il ne reste absolument aucune excuse à ceux qui ne se rendent pas compte que l'évolution est le résultat de la mutation, de la recombinaison des gènes, de la sélection et de l'isolation et que c'est la sélection, et non la mutation, qui dirige l'évolution. L'origine de catégories générales supérieures provient de la continuation des processus qui commencent par produire de nouvelles variétés et de nouvelles espèces. G. DE BEER

ANFINSEN, C. B.: *The Molecular Basis of Evolution.* Pp. XIII+228. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 56s.

Grâce à un certain nombre de découvertes récentes, il devient maintenant possible d'étudier l'hérédité et l'évolution au point de vue moléculaire. Les plus importantes sont celle du fait que l'acide nucléique est porteur des caractères héréditaires, de la constitution moléculaire de l'acide déoxyribonucléique (DNA) et de la généralisation appelée hypothèse d'un gène pour un enzyme, et finalement, la mise au point de méthodes permettant de déterminer les enchaînements amino-acides des protéines. C'est presque un axiome à l'heure actuelle qu'en fin de compte, le phénotype d'un organisme est l'expression des enchaînements amino-acides des protéines qu'il renferme et que celles-ci dépendent à leur tour de l'enchaînement des bases du DNA provenant de ses parents par l'intermédiaire du sperme et de l'œuf. La plupart des stades intermédiaires sont encore obscurs, mais beaucoup d'entre eux sont maintenant à l'étude et, d'ici quelques années, nous pourrons sans doute expliquer en principe comment les changements du phénotype proviennent de changements de la matière génétique.

Ce livre attachant est une des premières tentatives de corrélation dans ce domaine récent qui occupe maintenant une place prépondérante en recherche biologique. Il y a encore des lacunes parce que l'auteur a eu le courage d'écrire dès l'établissement d'un cadre théorique cohérent, sachant bien que les travaux de l'avenir le modifieraient considérablement. Les rapports entre la biochimie et la génétique entrent dans la discussion et les connaissances de biochimie demandées dépassent celles de génétique, bien que le biochimiste sans connaissances préalables de génétique fasse bien de se familiariser avec le sujet avant de commencer la lecture du livre. J. C. KENDREW

BOTANIQUE

ROELOFSEN, P. A.: *The Plant Cell Wall.* Pp. VII+335. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Nikolassee. 1959. DM 108.

Ce livre fait partie du *Handbuch der Pflanzenanatomie* et est destiné à remplacer celui de van Wisselingh, paru en 1925. Le sujet a fait de tels progrès depuis cette date qu'un changement complet de méthode était nécessaire. Au lieu d'essayer de faire un exposé sans omissions, l'auteur a cherché plutôt à faire le point des connaissances actuelles sans retracer leur développement.

Les chapitres du début étudient les constituants chimiques de la paroi cellulaire: cellulose, chitine, polyoses, polyuronides, lignine et lipoïdes en particulier. La majeure partie du volume est consacrée à la description des structures fines et les résultats obtenus à l'aide du microscope ordinaire et à lumière polarisée, à la radioscopie et au microscope électronique sont exploités à fond. Les avantages et les inconvénients de chaque méthode en ce qui concerne la paroi cellulaire sont brièvement expliqués, puis on trouve une étude détaillée de la structure des parois primaires et de la question difficile de leur croissance de surface. Des parois spécialisées dans de nombreux groupes végétaux terminent l'exposé. Les micrographies électroniques et autres illustrations en très grand nombre ont été judicieusement choisies et reproduites très clairement. W. O. JAMES

GAUTHERET, R. J.: *La culture des tissus végétaux. Techniques et réalisations.* Pp. XVIII+863. Masson et Cie, Paris. 1959. 105 NF.

Un livre de ce titre du Professeur Gautheret commande instantanément l'intérêt et le respect des botanistes. Le volume, conçu sur une vaste échelle, fait un large tableau du sujet, cite près d'un millier d'ouvrages à consulter, a un index généreux et des illustrations abondantes. C'est donc un ouvrage de référence plutôt qu'un volume à feuilleter.

La première partie a plus de 200 pages et s'occupe de la technique de culture des tissus végétaux. Elle traite de façon très détaillée de la composition des milieux de culture aux méthodes de maniement des matériaux les plus divers. On y trouve la liste de toutes les cultures connues ayant réussi pendant de longues périodes. Cette partie du

livre sera probablement la plus lue. Les parties suivantes portent sur la morphogenèse et la polarité telles qu'on les a constatées dans les cultures de tissus. La physiologie générale et la pathologie des matériaux cultivés viennent ensuite, avec mention spéciale dans la dernière de la formation de tumeurs. Sans vouloir critiquer le Professeur Gautheret, il est vrai que ces dernières sections sont moins fournies. En dépit de leur attraction évidente en tant qu'objets d'étude physiologique, les cultures de tissus ne sont pas le plus facile des sujets et on ne sait pas encore bien, par exemple, comment leur métabolisme se compare à celui des tissus à emplacement normal. Le livre du Professeur Gautheret sera l'ouvrage classique sur le sujet jusqu'à la réalisation de progrès nouveaux.

W. O. JAMES

HORSFALL, J. G. et DIMOND, A. E., publié par: *Plant Pathology. An Advanced Treatise.* Vol. I, *The Diseased Plant.* Pp. XIV+674. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Ltd., Londres. 1959. $22.

Ce volume est le premier d'une série de trois devant étudier tous les aspects de la pathologie végétale. Il traite avant tout de la plante malade et le premier article, œuvre des chefs de publication, prépare le terrain pour les quatorze articles suivants, écrits par les spécialistes distingués de plusieurs pays.

Voici les sujets traités, tous très à fond: rapports entre la pathologie végétale et les autres sciences; historique de la question; manifestation, diagnostic et mesure de la maladie végétale; effets immédiats de la maladie, aspects histologiques, physiologiques et biochimiques des réactions des plantes devant l'infection et l'invasion; hypersensibilité; prédisposition, et thérapeutique des plantes atteintes. Chaque chapitre se termine par une liste choisie mais assez complète d'ouvrages à consulter et est écrit avec soin et autorité.

Les chefs de publication indiquent dans la préface que l'objet principal du traité est de présenter les principes généraux de la pathologie végétale plutôt que de décrire des maladies particulières et les méthodes employées pour les combattre. Le premier volume remplit parfaitement ce but.

R. K. S. WOOD

ZOOLOGIE

NICOL, J. A. Colin: *The Biology of Marine Animals.* Pp. XI+707. Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., Londres. 1960. 95s.

Le Dr Nicol fait ici un exposé biologique extrêmement compétent des animaux marins envisagés principalement, mais non uniquement, du point de vue physiologique. Après des chapitres d'introduction sur le milieu marin et sur la nature et le contrôle du milieu liquide interne dans la population aquatique, il étudie, les uns après les autres tous les aspects physiologiques depuis la circulation jusqu'aux pigments, aux changements de couleur et à la luminescence. Dépassant les limites habituelles de la physiologie, il termine sa longue étude du sujet par des chapitres sur les associations et sur le squelette, les abris et les moyens de protection spéciaux.

Ce volume impressionnant et soigneusement rédigé porte tout au long la marque de recherches de première main, d'une vaste érudition et d'une remarquable puissance de synthèse.

C. M. YONGE

MÉDECINE

British Medical Bulletin, Vol. XVI, No. 1, *Antibiotics in Medicine.* Pp. XVII+88. British Council, Londres. 1960. 20s.

Ce numéro du *British Medical Bulletin* fait un exposé agréable et bien proportionné de la position actuelle des antibiotiques en médecine et en chirurgie et donne un aperçu des recherches scientifiques et technologiques qui ont permis les progrès rapides et complexes accomplis en chimiothérapie et associés aux antibiotiques. Les trois premiers articles — il y en a seize en tout —s'occupent de la chimie et de la biogenèse des antibiotiques, de leur mode d'action et des mécanismes de résistance des bactéries. Le Professeur L. P. Garrod et le Dr. E. F. Scowen introduisent les articles suivants par un exposé très clair des principes en cause dans la thérapeutique par les antibiotiques. La plupart de ces articles sont de nature générale. Mais la tuberculose et l'endocardite bactérienne, deux maladies où l'usage des antibiotiques a grandement influencé la prognose, sont étudiées séparément et il y a mention particulière des problèmes que posent les staphylocoques résistants et les bacilles qui ne prennent pas le gram.

E. P. ABRAHAM

HISTOIRE DES SCIENCES

NEEDHAM, J., LING, WANG et PRICE, D. J.: *Heavenly Clockwork.* Pp. XV+254. Cambridge University Press, en collaboration avec l'Antiquarian Horological Society, Cambridge. 1960. 65s.

Cette monographie, la première en date de l'*Antiquarian Horological Society*, renferme les résultats d'une des découvertes récentes les plus remarquables dans l'histoire de l'horométrie. On avait toujours pensé que l'échappement mécanique était une invention du monde occidental, réalisée vers le dernier quart du XIIIe siècle de notre ère et que les horloges à eau précédentes étaient une forme plus ou moins simple des clepsydres à égouttement dont les aiguilles et personnages avançaient au moyen de flotteurs et de poulies mais sans système d'échappement. Les auteurs prouvent maintenant qu'entre les années 725 et 1370 environ de notre ère (période où cet art semble avoir été perdu), les Chinois construisirent et opérèrent des horloges astronomiques très compliquées, mues par l'eau et réglées par une forme d'échappement extrêmement ingénieuse.

Le volume actuel renferme la traduction complète du 3e chapitre de Su Sung qui décrit ce mécanisme en détail et contient un certain nombre de dessins explicatifs outre des reproductions des illustrations originales du texte. Les auteurs ont pu reconnaître, grâce à l'étude du texte, plus de 150 termes techniques de la mécanique chinoise ancienne et, armés de ce glossaire, ont pu déchiffrer un certain nombre d'autres textes décrivant des machines similaires, souvent antérieures.

C. B. DROVER

TECHNOLOGIE

ELLIOT, A. et DICKSON, J. Home: *Laboratory Instruments, their Design and Application* (2e édition augmentée). Pp. XVI+514. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 55s.

Ce volume traite presque exclusivement des aspects mécaniques et optiques des instruments et matériaux de laboratoire. C'est aussi un guide apprécié de tous ceux, chercheurs et autres, qui étudient et montent des équipements spéciaux. Il y a peu d'ouvrages de ce genre et l'accueil réservé à la première édition prouve assez son utilité. La nouvelle traite des matériaux plastiques plus à fond, des métaux non corrosifs, des cristaux optiques employés en spectrophotométrie, de la protection par le verre contre les radiations dangereuses. Il y a aussi du nouveau sur la vision des couleurs, les lentilles photographiques et les essais de pouvoir séparateur.

W. G. PRICE

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

FREEDMAN, P.: *The Principles of Scientific Research* (2e édition). Pp. XVII + 227. Pergamon Press Ltd., Oxford. 1960. 25s.

Volume à l'intention du jeune scientifique se destinant à la recherche. Il fait un tableau d'ensemble de la nature de la recherche scientifique du point de vue du chercheur, décrit les types de problèmes à résoudre et les façons de les aborder. Il offre aussi des suggestions quant aux disponibilités d'aide à la recherche. La première édition a été revue par le fils de l'auteur, R. Clayton, surtout pour développer la section sur la recherche biologique.

BREHAUT, D. H., DAWSON, B. E., GRIMSDELL, J. L., PAUL, A. R. et SKULL, J. E.: *An Approach to Natural Science*. Pp. 264. Methuen & Co. Ltd., Londres. 1960. 8s. 6d.

Ce livre repose sur le cours d'introduction scientifique de deux ans donné originellement à *Quintin School*, à Londres. Il cherche à préparer à l'étude scientifique générale par l'interprétation des caractéristiques et mécanismes des organismes vivants aux points de vue physique et chimique. Il y a des chapitres sur la chaleur, l'alimentation, le sol et le mode de vie; les deux derniers chapitres, sur l'électricité et la nature de la matière, sont destinés à faire le pont avec les cours spécialisés de physique et de chimie.

DAUDEL, R., LEFEBRE, R. et MOSER, C.: *Quantum Chemistry: Methods and Applications*. Pp. XIII + 572. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. $14,50.

Ce volume s'adresse aux chimistes voulant apprendre à calculer des fonctions ondulatoires de molécules et à les utiliser pour l'étude des propriétés physiques et chimiques des corps. Des connaissances poussées de mathématiques et de chimie quantique ne sont pas exigées: elles sont données au fur et à mesure des besoins. Parmi les questions traitées, on trouve la revue des méthodes empiriques en mécanique quantique avec l'étude détaillée de la combinaison linéaire d'orbitales atomiques — orbitale moléculaire (LCAO-MO) en approximation et des exposés plus brefs d'autres méthodes, telles que l'approximation de la liaison valentielle; la section renferme aussi un certain nombre d'applications de ces méthodes simples. La seconde partie du livre traite des méthodes non empiriques et semi-empiriques et donne quelques résultats obtenus par ces techniques plus rigoureuses.

GAYDON, A. G. et WOLFHARD, H. G.: *Flames: their Structure, Radiation and Temperature* (2e édition). Pp. XIII + 383. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1960. 70s.

Le livre essaie de présenter une étude assez poussée de la partie de la science de la combustion ayant trait aux flammes stationnaires du point de vue physique plutôt que chimique. Les questions traitées comptent les lignes de courants et les formes de flammes, les flammes de diffusion et la mesure de la température des flammes. Les progrès des travaux sur la combustion ont demandé la rédaction nouvelle de vastes sections de la première édition; deux chapitres ont été entièrement refaits pour permettre de traiter les combustibles de fusées et les découvertes récentes sur la question des flammes.

PASCAL, P., publié par: *Nouveau traité de chimie minérale*, Vol. VII. Partie I: pp. XXXIX + 706. Partie II, pp. 707–1473. Masson et Cie, Paris. 1960. Broché, 180 NF; relié, 200 NF.

F. Trombe, J. Loriers, Madame F. Gaume-Mahn et Mademoiselle C. Henry la Blanchetais sont les auteurs des sections principales du volume faisant l'étude chimique du scandium, de l'yttrium et des terres rares. La courte étude en 34 pages de l'actinium est l'œuvre de G. Boussières.

KILNER, E. et SAMUEL, D. M.: *Applied Organic Chemistry*. Pp. XI + 484. Macdonald and Evans Ltd., Londres. 1960. 50s.

Livre à l'intention des étudiants ayant besoin d'un lien entre les manuels académiques de chimie organique et les ouvrages détaillés de l'industrie chimique organique. Les chapitres portent sur une grande diversité de composés organiques, renseignant sur les méthodes industrielles de préparation et de séparation. L'ouvrage est fait de façon à servir de supplément aux manuels existants de chimie organique.

KERKUT, G. A. et SCHEER, B. T., publié par: *Comparative Biochemistry and Physiology*, Vol. I, No. 1. Pp. 100. Pergamon Press Inc., New-York; Pergamon Press Ltd., Londres. 1960. Abonnements: organisations, $20 par vols. (2 vols. par an); particuliers, $15 par an.

Le Professeur Needham déclare dans l'avant-propos précédant cette revue que son but est de faire paraître des articles pour étendre la portée de la biochimie et de la physiologie, surtout en ce qui concerne les invertébrés. O. Lowenstein et L. H. Finlayson sont les auteurs de l'article sur la réaction chez l'insecte du récepteur de tension abdominale soumis à une stimulation de phase, E. Baldwin de l'article sur l'uréogenèse chez les poissons élasmobranches et le Professeur Needham lui-même de celui sur les propriétés du pigment du tissu conjonctif chez *Lithobius forficatus* (L).

ARTHUR, D. R.: *Ticks. A Monograph of the Ixodoidea*. Partie V. Pp. VIII + 251. Cambridge University Press, Londres. 1960. 60s.

Les quatre premières parties — il doit y en avoir sept en tout — de cette revue complète de la classification, constitution et biologie des tiques, étaient l'œuvre du regretté Professeur G. H. F. Nuttall; le travail sera complété par le Dr D. R. Arthur. Le volume actuel s'occupe du genre *Dermacentor*, avec des sections sur espèces américaines, eurasiatiques et africaines et des genres *Anocentor*, *Cosmiomma*, *Boophilus* et *Margaropus*.

LAWSON, D. F.: *The Technique of Photomicrography*. Pp. XVI + 256. George Newnes Ltd., Londres. 1960. 55s.

Les sujets traités ici font partie de la technique microphotographique, à l'exception de la microphotographie électronique. Il y a des détails pratiques sur l'équipement convenable, l'éclairage et le développement de façon à offrir un guide complet au savant et au photographe. Les microphotographies sont nombreuses.

Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. Pp. 280. The Royal Society, Londres. 1959. 30s.

Les 19 biographies du volume sont toutes accompagnées d'une photo et d'une liste des œuvres de l'auteur.

Notes biographiques sur les collaborateurs

M. F. MADELIN,
B.Sc., A.R.C.S., Ph.D., D.I.C.,

Né à Londres en 1931. Fut employé au *Commonwealth Mycological Institute* de Kew en 1947–48. De 1948 à 1951 il étudia la botanique à l'*Imperial College*, à Londres, où il fut nommé préparateur par la suite. Il devint Chargé de cours de Mycologie à l'*University College* de la Côte de l'Or (le Ghana actuel) fin 1953 et retourna à l'*Imperial College* en 1957 pour y occuper un poste semblable. Ses recherches concernent surtout les champignons entomogènes.

E. F. G. HERINGTON,
Ph.D., D.Sc., A.R.C.S., D.I.C.,

Fit ses études au *Royal College of Science* de Londres. En 1937, après avoir passé son doctorat, il entra au Centre de recherches sur les combustibles de Greenwich et fut détaché ensuite pour 6 ans auprès du *Department of Colloid Science* pour l'étude du mécanisme de la catalyse à Cambridge. En 1946, il passa au *National Chemical Laboratory* de Teddington où il dirige la Section de la Purification et de la Mesure. Il a écrit de nombreux articles scientifiques et un ouvrage en collaboration sur la distillation.

N. G. STEWART,
M.A.,

Naquit à Buckie, dans le Banffshire, en 1916 et étudia à l'Université d'Aberdeen. Il travailla d'abord au *Reactor Research and Development Establishment* où il devint Chef de groupe responsable de l'étude des systèmes d'antennes et de guides d'ondes; il entra à la Division de physique sanitaire du Centre de Recherches atomiques de Harwell en 1948, où il étudia un certain nombre de problèmes concernant la dispersion atmosphérique. En 1958 fut nommé Directeur de la Division de la Santé et de la Sécurité à l'*Experimental Reactor Establishment* de Dounreay. Il va retourner cette année à Harwell comme Chef de la Division de physique sanitaire.

A. J. MARSHALL,
D.Phil., D.Sc.,

Naquit à Sydney en 1911 et étudia à l'Université de la ville et à *Merton College*, Oxford. Ses travaux ont porté surtout, mais pas exclusivement, sur la physiologie de la reproduction chez les vertébrés par rapport au milieu. Il est maintenant Professeur de Biologie et de Physiologie comparée à *Monash University*, dans le Victoria, Australie.

W. E. SWINTON,
Ph.D., F.R.S.E.,

Né en Ecosse en 1901, fit ses études à l'Université de Glasgow. Il entra au service du *British Museum* (Histoire Naturelle) en 1930. Il s'intéresse surtout aux reptiles fossiles et a écrit plusieurs livres sur la paléontologie des vertébrés. Il est Secrétaire général honoraire de la *British Association*.

J. E. LYNN,
B.Sc.,

Né à Newcastle upon Tyne en 1932, fit ses études à l'Université de Durham, obtenant ses diplômes de physique en 1953. Il est maintenant Chef de Groupe scientifique au Centre de Recherches atomiques de Harwell où il a étudié des problèmes expérimentaux et théoriques de la physique des neutrons. Il a été nommé Associé de recherches en résidence pour un an à l'*Argonne National Laboratory* à partir de septembre 1960.

P. H. GREGORY,
Ph.D., D.Sc.,

Naquit à Exmouth, dans le Devon, en 1907 et étudia au *Technical College* de Brighton et à l'*Imperial College* de Londres. Fut mycologue de recherches au *Manitoba Medical College* à Winnipeg de 1931 à 1934 et à *Seale-Hayne Agricultural College*, à Newton Abbot de 1935 à 1940. De 1940 à 1954, il fut spécialiste de pathologie végétale à *Rothamsted Experimental Station*, à Harpenden. A été Professeur de Botanique à l'*Imperial College* de Londres de 1954 à 1958. Il retourna en 1958, à *Rothamsted Experimental Station*, où il dirige maintenant le Département de pathologie végétale.